

ANDRZEJ KANICKI, JERZY KOZŁOWSKI

STACJE ELEKTROENERGETYCZNE

Łódź, 2004

SPIS TREŚCI

	strona
1. ROLA STACJI W SYSTEMIE ELEKTROENERGETYCZNYM	7
2. UKŁADY POŁĄCZEŃ STACJI.....	14
2.1. UWAGI OGÓLNE	14
2.2. POJEDYNCZY SYSTEM SZYN ZBIORCZYCH	14
2.3. PODWÓJNY SYSTEM SZYN ZBIORCZYCH	15
2.4. ROZDZIELNIA Z SZYNAMI OBEJŚCIOWYMI I POŁĄCZENIAM I OBEJŚCIOWYMI	18
2.5. WIELOKROTNY SYSTEM SZYN ZBIORCZYCH	18
2.6. UKŁADY BLOKOWE	19
2.7. UKŁADY MOSTKOWE	20
2.8. UKŁADY WIELOBOKOWE	21
2.9. PODWÓJNY SYSTEM SZYN ZBIORCZYCH Z DWOMA WYŁĄCZNIKAMI NA JEDNO POLE	22
2.10. UKŁAD PÓŁTORAWYŁĄCZNIKOWY	22
2.11. UKŁADY POŁĄCZEŃ PÓL	23
2.11.1. Pole liniowe SN	23
2.11.2. Pole liniowe WN	25
2.11.3. Pole transformatorowe	26
2.11.4. Pole sprzęgła	27
2.11.5. Pole pomiaru napięcia	27
2.11.6. Pole odgromników	28
2.12. PRZYKŁADY UKŁADÓW POŁĄCZEŃ STACJI	28
3. ROZWIĄZANIA KONSTRUKCYJNE STACJI.....	37
3.1. UWAGI OGÓLNE	37
3.2. PODSTAWOWY ODSTĘP IZOLACYJNY - ODSTĘP MINIMALNY	38
3.3. DOSTOSOWANIE ROZDZIELNI DO WARUNKÓW ZWARCIOWYCH	40
3.4. KONSTRUKCJE ROZDZIELNI ZE WZGLĘDU NA WYGODNĄ I BEZPIECZNĄ EKSPLOATACJĘ	42
3.4.1. Uwagi ogólne	42
3.4.2. Ochrona przed dotykiem bezpośrednim	44
3.4.2.1. Uwagi ogólne	44
3.4.2.2. Ochrona poza zamkniętymi obszarami ruchu elektrycznego	46
3.4.2.3. Ochrona wewnątrz zamkniętych obszarów ruchu elektrycznego	46
3.4.2.4. Instalacje wewnętrzne otwarte	50
3.4.2.5. Instalacje napowietrzne otwarte	51
3.4.2.6. Porównanie wymagań ochrony podstawowej wg PBUE i normy PN-E 05115:2002	51
3.4.3. Ochrona przed zagrożeniem łukiem elektrycznym	54
3.4.4. Ochrona przed bezpośrednim uderzeniem pioruna	54
3.5. WARUNKI ŚRODOWISKOWE STACJI	56
3.5.1. Posadowienie stacji	56
3.5.2. Ochrona przeciwpożarowa	57
3.6. STACJE WNĘTRZOWE ŚREDNIEGO NAPIĘCIA	58
3.6.1. Transformatory suche	74
3.6.2. Odłącznik typu "Rotary"	76

3.7.	STACJE NAPOWIETRZNE WYSOKIEGO NAPIĘCIA	77
3.8.	STACJE WNĘTRZOWE WYSOKIEGO NAPIĘCIA.....	81
3.9.	NAPOWIETRZNE STACJE SŁUPOWE	82
3.10.	NAPOWIETRZNE URZĄDZENIA SŁUPOWE.....	88
3.10.1.	Napowietrzne rozłączniki średniego napięcia w izolacji SF ₆	88
3.10.2.	Odlączniki napowietrzne SN.....	90
3.11.	ROZDZIELNICE OSŁONIĘTE IZOLOWANE SZEŚCIOFLUORKIEM SIARKI	91
3.11.1.	Uzasadnienie wyboru SF ₆ do budowy rozdzielnic.....	91
3.11.2.	Zasady budowy rozdzielnic z SF ₆	92
3.11.3.	Przykłady rozwiązań konstrukcyjnych rozdzielni z SF ₆	94
3.11.3.1.	Rozdzielnia typu 8DN8	94
3.11.3.2.	Rozdzielnia Rotoblok SF ₆	96
4.	DOBÓR ELEMENTÓW TORÓW GŁÓWNYCH	99
4.1.	DOBÓR MOCY ZNAMIONOWEJ TRANSFORMATORA	99
4.1.1.	Założenia i uproszczenia metody	99
4.1.2.	Obliczanie temperatur transformatora.....	101
4.1.2.1.	Założenia	101
4.1.2.2.	Równania stanu ustalonego	102
4.1.2.3.	Równania stanu nieustalonego	103
4.1.2.4.	Starzenie się cieplne izolacji transformatora	103
4.1.2.5.	Temperatura otoczenia	104
4.1.3.	Określenie zastępczego równoważnego dwustopniowego wykresu obciążenia.....	105
4.1.4.	Dobór transformatora dla normalnego obciążenia ciągłego	107
4.1.5.	Dobór transformatora dla normalnego obciążenia cyklicznego.....	107
4.1.6.	Określenie awaryjnego obciążenia cyklicznego	116
4.1.7.	Regulacja przekładni transformatora	118
4.2.	DOBÓR PRZEWODÓW SZYNOWYCH ZBIORCZYCH	119
4.2.1.	Uwagi ogólne	119
4.2.2.	Obciążalność długotrwała prądem ciągłym	120
4.2.3.	Wytrzymywanie skutków cieplnych prądu zwarciovego.....	123
4.2.4.	Wytrzymałość mechaniczną przy obciążeniach normalnych.....	129
4.2.5.	Wytrzymałość mechaniczna przy zwarciu dla przewodów sztywnych	129
4.2.5.1.	Wyznaczanie sił.....	129
4.2.5.2.	Wyznaczanie naprężeń	132
4.2.5.3.	Sprawdzenie wytrzymałości mechanicznej.....	136
4.2.5.4.	Wyznaczanie częstotliwości drgań własnych szyn.....	137
4.2.6.	Wytrzymałość mechaniczna przy zwarciu dla przewodów giętkich	141
4.2.6.1.	Wprowadzenie [43]	141
4.2.6.2.	Postanowienia ogólne.....	145
4.2.6.3.	Parametry charakterystyczne.....	146
4.2.6.4.	Siły podczas zwarcia	149
4.2.6.5.	Siły po zwarciu.....	150
4.2.6.6.	Poziome wychylenie przewodów b _h	150
4.2.6.7.	Minimalny odstęp izolacyjny występujący pomiędzy przewodami podczas zwarcia.....	152
4.2.6.8.	Siła naciągu spowodowana sklejeniem się przewodów wiązkowych podczas zwarcia ..	152
4.2.7.	Przykłady doboru szyn zbiorczych	160
4.2.7.1.	Dobór pojedynczej szyny sztywnej [17]	160
4.2.7.2.	Dobór szyny sztywnej wielopasmowej [17].....	161
4.2.7.3.	Dobór szyny rurowej w rozdzielni bez SPZ [17]	164
4.2.7.4.	Dobór szyny rurowej w rozdzielni z SPZ [17]	165
4.2.7.5.	Dobór szyn giętkich.....	165






4.3.	DOBÓR IZOLATORÓW STACYJNYCH	173
4.3.1.	Uwagi ogólne	173
4.3.2.	Dobór typu izolatora.....	173
4.3.3.	Dobór wytrzymałości elektrycznej izolacji izolatora.....	173
4.3.4.	Dobór odporności na zabrudzenie izolatora.....	173
4.3.5.	Dobór wytrzymałości mechanicznej izolatora	176
4.3.6.	Dobór izolatorów przepustowych	179
4.4.	DOBÓR APARATURY ŁĄCZENIOWEJ.....	180
4.4.1.	Warunki pracy aparatów	180
4.4.2.	Wielkości znamionowe wspólne dla aparatury rozdzielczej.....	182
4.4.2.1.	Wprowadzenie.....	182
4.4.2.2.	Napięcie znamionowe U_r	182
4.4.2.3.	Poziom znamionowy izolacji.....	183
4.4.2.4.	Częstotliwość znamionowa f_r	184
4.4.2.5.	Prąd znamionowy ciągły I_r	184
4.4.2.6.	Prąd znamionowy krótkotrwały wytrzymywany I_k	184
4.4.2.7.	Prąd znamionowy szczytowy wytrzymywany I_p	185
4.4.2.8.	Czas znamionowy trwania zwarcia t_k	185
4.4.2.9.	Wielkości znamionowe napędów i obwodów pomocniczych	185
4.4.3.	Dobór wyłącznika	186
4.4.3.1.	Wprowadzenie.....	186
4.4.3.2.	Prąd znamionowy ciągły wyłącznika I_r	188
4.4.3.3.	Prąd znamionowy wyłączalny zwarcia	189
4.4.3.4.	Napięcie powrotne.....	190
4.4.3.5.	Szereg przestawieniowy	191
4.4.3.6.	Zwarcia pobliskie	192
4.4.3.7.	Prąd znamionowy wyłączalny przy niezgodności faz	192
4.4.3.8.	Prąd znamionowy wyłączalny przy łączeniu małych prądów	192
4.4.3.9.	Czasy znamionowe.....	193
4.4.4.	Dobór rozłącznika	193
4.4.5.	Dobór odłącznika lub uziemnika.....	196
4.5.	DOBÓR BEZPIECZNIKÓW WYSOKIEGO NAPIĘCIA	199
4.5.1.	Podstawowe typy bezpieczników.....	199
4.5.2.	Bezpieczniki ograniczające prąd.....	200
4.5.3.	Bezpieczniki gazowydmuchowe.....	205
4.5.4.	Bezpieczniki przekładnikowe	207
4.5.5.	Dobór bezpieczników.....	208
4.5.5.1.	Napięcie znamionowe i znamionowy poziom izolacji	208
4.5.5.2.	Prąd wyłączalny znamionowy (I_{nws}).....	208
4.5.5.3.	Charakterystyka prądów ograniczonych	209
4.5.5.4.	Całka Joule'a.....	210
4.5.5.5.	Współczynnik K.....	210
4.5.5.6.	Wybijak i inne urządzenia instalowane w bezpiecznikach.....	211
4.5.5.7.	Prąd znamionowy ciągły przy zabezpieczeniu transformatora	211
4.5.5.8.	Prąd znamionowy ciągły przy zabezpieczeniu silników	214
4.5.5.9.	Prąd znamionowy ciągły przy zabezpieczeniu baterii kondensatorów	218
4.5.6.	Dobór podstawy bezpiecznikowej	219
4.6.	DOBÓR DŁAWIKÓW PRZECIWWZWARCIOWYCH	219
4.6.1.	Wprowadzenie.....	219
4.6.2.	Reaktancja dławika	219
4.6.3.	Znamionowy prąd krótkotrwały.....	221
4.7.	DOBÓR PRZEKŁADNIKÓW PRĄDOWYCH	221

4.8.	DOBÓR PRZEKŁADNIKÓW NAPIĘCIOWYCH	222
5.	INSTALACJE UZIEMIAJĄCE STACJI ELEKTROENERGETYCZNEJ	224
5.1.	UWAGI OGÓLNE	224
5.2.	WYMIAROWANIE INSTALACJI UZIEMIAJĄCYCH WEDŁUG PN-E 05115:2002	224
5.2.1.	Wymiarowanie instalacji uziemiającej ze względu na korozję i narażenia mechaniczne.....	224
5.2.2.	Wymiarowanie instalacji uziemiającej ze względu na wytrzymałość cieplną.....	225
5.2.3.	Wymiarowanie instalacji uziemiającej ze względu na napięcia dotykowe i krokowe rażeniowe	231
5.2.3.1.	Wprowadzenie	231
5.2.3.2.	Dodatkowe rezystancje.....	231
5.2.3.3.	Środki typu M.....	234
5.2.3.4.	Postawy projektowanie uziomu.....	236
5.3.	WYKONANIE UZIOMÓW I PRZEWODÓW UZIEMIAJĄCYCH.....	242
5.3.1.	Uziomy	242
5.3.2.	Przewody uziemiające.....	243
5.4.	WYMAGANIA DODATKOWE DOTYCZĄCE UZIEMIENIA URZĄDZEŃ I INSTALACJI	243
5.4.1.	Zewnętrzne ogrodzenia stacji.....	243
5.4.2.	Rurociągi	243
5.4.3.	Tory kolejowe	244
5.4.4.	Słupowe stacje transformatorowe	244
5.4.5.	Obwody wtórne przekładników	244
5.5.	POTENCJAŁY PRZENOSZONE	244
5.6.	WSPÓLNE INSTALACJE UZIEMIAJĄCE DLA URZĄDZEŃ WYSOKIEGO I NISKIEGO NAPIĘCIA	245
5.6.1.	Warunki wykonania wspólnej instalacji uziemiającej	245
5.6.2.	Zasilanie urządzeń niskiego napięcia znajdujących się na terenie instalacji uziemiającej wysokiego napięcia.....	249
5.6.3.	Zasilanie instalacji niskiego napięcia znajdujących się poza terenem instalacji uziemiającej wysokiego napięcia.....	249
5.6.4.	Oddzielne instalacje uziemiające	250
6.	URZĄDZENIA POMOCNICZE W STACJACH.....	252
6.1.	TYPY OBCIĄŻEŃ W UKŁADACH POTRZEB WŁASNYCH.....	252
6.2.	ŹRÓDŁA ZASILANIA UKŁADÓW POTRZEB WŁASNYCH	252
6.3.	TRANSFORMATORY POTRZEB WŁASNYCH (UZIEMIAJĄCE)	253
6.4.	DŁAWIKI GASZĄCE	256
6.5.	REZYSTORY UZIEMIAJĄCE	259
6.6.	REZYSTORY WYMUSZAJĄCE WYSOKIEGO NAPIĘCIA.....	263
6.7.	TRANSFORMATORY WYMUSZAJĄCE.....	265
6.8.	REZYSTORY WYMUSZAJĄCE NISKIEGO NAPIĘCIA	265
6.9.	DOBÓR TRANSFORMATORA UZIEMIAJĄCEGO ZASILAJĄCEGO REZYSTOR UZIEMIAJĄCY ..	269
	LITERATURA	272
	ZAŁĄCZNIK NR 1	278

1. ROLA STACJI W SYSTEMIE ELEKTROENERGETYCZNYM

W systemie elektroenergetycznym źródła i odbiorniki energii elektrycznej powiązane są ze sobą siecią elektroenergetyczną, której zadaniem jest przetwarzanie, przesyłanie i rozdzielanie energii elektrycznej. Przetwarzanie i rozdzielanie energii elektrycznej odbywa się w węzłowych punktach tej sieci zwanych stacjami elektroenergetycznymi, dalej w skrócie stacjami. Symbole graficzne różnych typów stacji są przedstawione w tabl. 1.1.

Tabl. 1.1. Symbole graficzne różnych typów stacji

Lp.	Symbol graficzny	Typ stacji
1		Stacja projektowana
2		Stacja istniejąca
3		Stacja rozdzielcza
4		Stacja transformatorowa
5		Stacja transformatorowo-rozdzielcza

Z przetwarzaniem i rozdziałem energii elektrycznej w stacji wiążą się jej dalsze funkcje takie, jak:

- regulacja napięcia w sieci,
- kompensacja mocy biernej,
- utrzymanie prądów zwarciovych na odpowiednim poziomie,
- wyłączanie i załączanie elementów sieci.

Urządzenia realizujące te funkcje znajdują się w stacjach (np. transformatory regulacyjne, kompensatory, baterie kondensatorów, dławiki zwarciovowe). Stacjami elektroenergetycznymi są również stacje prostownikowe, falownikowe, przetwornikowe częstotliwości. W tym wykładzie nie będziemy się nimi zajmowali.

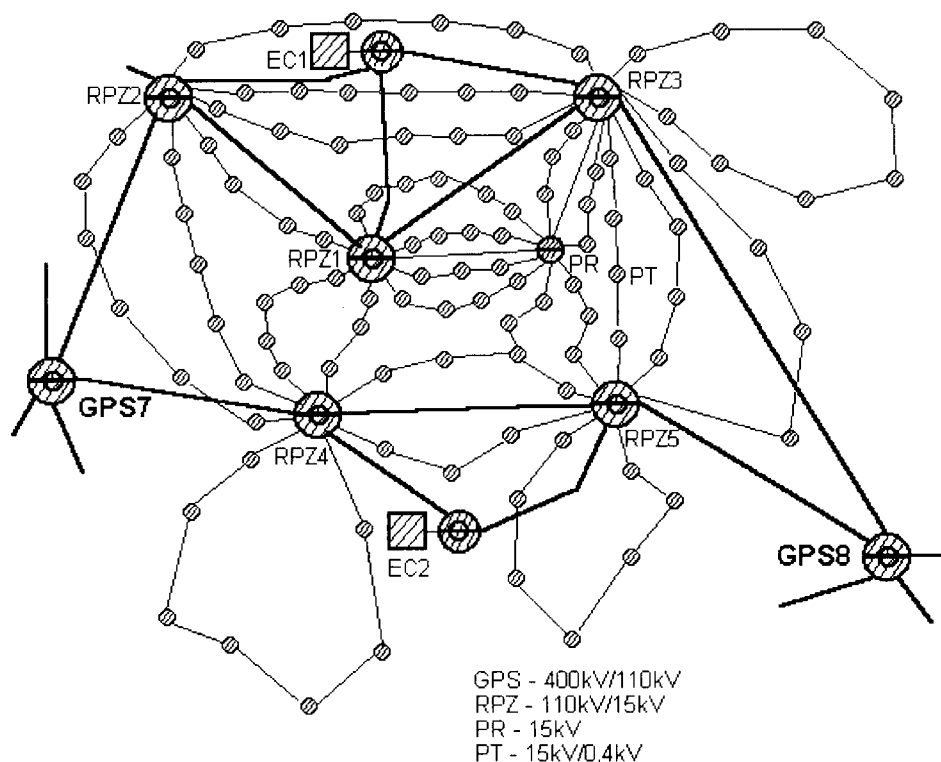
Stacje również klasyfikuje się ze względu na rolę, jaką spełniają w systemie elektroenergetycznym, można tu wyróżnić stacje:

- elektrowniane,
- sieciowe rozdzielcze,
- sieciowe odbiorcze.

Na rys. 1.1 poniżej przedstawione są stacje spełniające różne role na przykładzie sieci elektroenergetycznej dużego miasta.

W ustawie Prawo Energetyczne [128] wprowadza następujące pojęcia:

- urządzenia – urządzenia techniczne stosowane w procesach energetycznych,
- instalacje – urządzenia z układami połączeń między nimi,
- sieci – instalacje połączone i współpracujące ze sobą, służące do przesyłania i dystrybucji energii, należące do przedsiębiorstw energetycznych;
- sieć przesyłowa elektroenergetyczna – sieć elektroenergetyczną o napięciu nominalnym wyższym niż 110 kV;
- sieć rozdzielcza elektroenergetyczna – sieć elektroenergetyczną o napięciu nominalnym nie wyższym niż 110 kV.



Rys. 1.1. Pełnione różne role przez stacje na przykładzie sieci elektroenergetycznej dużego miasta

Stacje elektroenergetyczne są projektowane w oparciu o normę PN-E-05115: 2002 Instalacje elektroenergetyczne prądu przemiennego o napięciu wyższym od 1 kV [62], która to norma jest tłumaczeniem europejskiego Dokumentu Harmonizującego HD 637 S1 Power installations exceeding 1 kV a.c. [11] wydanego przez europejską organizację normalizacyjną CENELEC. Norma ta zastępuje przepisy PBUE [122] w szczególności rozdziały III i IV. Ważnym uzupełnieniem normy [62] są wydane w 2004 roku komentarze do tej normy [41] opracowane przez grupę wybitnych specjalistów. W normie [62] wprowadzono termin "Instalacje elektroenergetyczne prądu przemiennego o napięciu wyższym od 1 kV". Termin instalacje obejmuje:

- a) Stacje
 Zamknięty obszar ruchu elektrycznego z aparaturą rozdzielczą oraz/lub transformatorami w sieci przesyłowej lub rozdzielczej. Za instalacje uważa się również aparaty rozdzielcze oraz/lub transformatory usytuowane poza zamkniętym obszarem ruchu elektrycznego.
- b) Elektrownia lub ich zespół zlokalizowana na jednym terenie
 Instalacja obejmuje jednostki generatorowe i transformatorowe wraz z przynależną aparaturą rozdzielczą i wszystkimi elektrycznymi układami pomocniczymi. Nie obejmuje jednak połączeń pomiędzy elektrowniami zlokalizowanymi na różnych terenach.
- c) Układ elektroenergetyczny fabryki, zakładu przemysłowego lub innych obiektów przemysłowych, rolniczych, handlowych lub publicznych
 Połączenie pomiędzy zamkniętymi obszarami ruchu elektrycznego (ze stacjami włącznie), zlokalizowane na jednym terenie, są uważane za część instalacji, z wyjątkiem przypadku, gdy te połączenia tworzą część sieci przesyłowej lub rozdzielczej.

W normie [62] wprowadzono również terminy:

- Napięcie znamionowe urządzenia,
 Napięcie znamionowe urządzenia jest to wartość napięcia przypisana zasadniczo przez wytwórcę, dla określenia warunków pracy urządzenia.

- Napięcie nominalne sieci.
Napięcie nominalne sieci to wartość napięcia określająca lub identyfikująca sieć.

Ze względu na wartość napięcia nominalnego sieci dzielimy je na:

- sieci niskiego napięcia (oznaczenie nn), czyli sieci o napięciu nominalnym niższym od 1 kV,
- sieci wysokiego napięcia (oznaczenie WN), czyli sieci o napięciu nominalnym wyższym od 1 kV, które dzielimy dodatkowo na:
 - ◆ sieci średniego napięcia (oznaczenie SN), czyli sieci o napięciu nominalnym wyższym lub równym 1 kV a niższym niż 60 kV,
 - ◆ sieci najwyższych napięć (oznaczenie NN), czyli sieci o napięciu nominalnym wyższym od 60 kV.

Należy tutaj pamiętać, że z punktu widzenia ochrony przeciwporażeniowej mamy dwa przedziały do 1 kV i powyżej 1 kV.

Stacje można również klasyfikować pod względem konstrukcyjnym, np. mogą być wewnętrzne lub napowietrzne, z polami otwartymi lub osłoniętymi, izolowane powietrzem, innym gazem (SF₆), czy z izolacją stałą. Norma [62] podaje następujące rodzaje instalacji elektroenergetycznych:

1. Instalacje napowietrzne

Instalacja elektroenergetyczna, która znajduje się na zewnątrz pomieszczeń, która dzieli się na:

- Instalacje napowietrzna otwarta
Instalacja, w której wyposażenie nie ma pełnej ochrony przed bezpośrednim dotykiem oraz jest bezpośrednio narażona na oddziaływanie atmosfery.
- Instalacje napowietrzna osłonięta
Instalacja, w której zapewniono pełną ochrony przed bezpośrednim dotykiem i której osłony dają ochronę przed bezpośrednim oddziaływaniem atmosfery.

2. Instalacja wewnętrzna

Instalacja elektroenergetyczna umieszczona wewnątrz budynków lub w pomieszczeniach, której wyposażenie jest chronione przed oddziaływaniem atmosfery i która dzieli się na:

- Instalacja wewnętrzna otwarta
Instalacja wewnętrzna, w której wyposażenie nie ma pełnej ochrony przed bezpośrednim dotykiem.
- Instalacja wewnętrzna osłonięta
Instalacja wewnętrzna, w której wyposażenie ma pełną ochronę przed bezpośrednim dotykiem.

Rozdzielnica jest to zespół urządzeń elektrycznych składający się z przyrządów rozdzielczych, zabezpieczających, pomiarowych, sterowniczych i sygnalizacyjnych wraz z elementami przewodowymi, izolacyjnymi i wsporczymi tworzący układ zdolny do rozdziału energii elektrycznej. Rozdzielnica jest to wydzielone pomieszczenie lub zespół pomieszczeń lub wydzielony teren, gdzie znajduje się rozdzielnica wraz z urządzeniami pomocniczymi. Tak ujęte pojęcia rozdzielni i rozdzielnicy nie znalazły powszechnej akceptacji. Spowodowane to jest tym, że wcześniej rozpowszechniło się pojęcie rozdzielnicy w odniesieniu do rozdzielni niskiego napięcia lub rozdzielni prefabrykowanej niskiego lub średniego napięcia. Do urządzeń pomocniczych niezbędnych do normalnej pracy zalicza się:

- źródła napięcia potrzeb własnych stacji i napięcia pomocniczego obwodów zabezpieczeń, pomiarów, sterowania i sygnalizacji,
- odbiorniki potrzeb własnych stacji,
- instalacje uziemień,
- urządzenia łączności i telemechaniki,

- urządzenia i instalacje sprężonego powietrza.

Obwody stacji można podzielić na główne i pomocnicze. Obwody główne obejmują drogi prądowe przeznaczone dla energii przetwarzanej lub rozdzielanej. Obwody pomocnicze obejmują drogi prądowe urządzeń pomiarowych, zabezpieczających, sterowniczych, sygnalizacyjnych i potrzeb własnych stacji. W większości rozdzielni można wyróżnić szyny zbiorcze i pola rozdzielcze (pola). Szynami zbiorczymi nazywa się zespół szyn lub przewodów należący do obwodów głównych i służący do rozdziału energii elektrycznej w rozdzielni. Pole jest to część rozdzielni zawierająca obwód główny wraz z wyposażeniem pomocniczym spełniająca określoną funkcję w rozdzielni:

- Funkcję zasilania rozdzielni spełnia pole zasilające (dopływowe).
- Funkcję zasilania odbioru spełnia pole odbiorcze (odpływowe).
- Funkcję łączenia sekcji lub systemów szyn spełnia pole sprzęgła (łącznika szyn).
- Pole zasilające transformator nazywa się polem transformatorowym.
- Pole przeznaczone do pomiaru wielkości elektrycznych nazywa się polem pomiarowym.
- Pole zasilające transformator potrzeb własnych nazywa się polem potrzeb własnych.
- Pola rezerwowe.

W normie [62] wprowadzono również następujące terminy związane z uziemieniami:

- Ziemia: Środowisko budowli inżynierskich, jak również materiał przewodzący prąd elektryczny.
- Ziemia odniesienia: Obszar ziemi znajdujący się poza strefą wpływu uziomu lub układu uziemiającego, tj. obszar, w którym różnica potencjałów dwóch dowolnych punktów nie zmienia się pod wpływem prądu uziomowego.
- Uziom: Część przewodząca mająca dobrą styczność z ziemią lub przewód umieszczony w betonie stykającym się z ziemią na dużej powierzchni (tzw. uziom fundamentowy).
- Instalacja uziemiająca: Lokalnie ograniczony układ połączonych elektrycznie uziomów lub metalowych części wykorzystywanych do celów uziemienia (np. fundamentów słupów, zbrojeń lub metalowych powłok kabli), przewodów uziemiających i przewodów wyrównawczych.
- Przewód uziemiający: Przewód łączący z uziomem część należącą do instalacji, która powinna być uziemiona lub przewód, łączący uziomy i który jest układany nad ziemią lub pograżony w gruncie, ale od niego izolowany. Jeżeli połączenie jest wykonane poprzez rozłączalną złączkę, łącznik, licznik zadziałań lub iskiernik ograniczników przepięć itp., wtedy przewodem uziemiającym jest tylko część przewodu połączona stale z uziomem.
- Przewód wyrównawczy: Przewód spełniający rolę połączenia ekwipotencjalnego.
- Uziemić: Połączyć z ziemią część elektrycznie przewodzącą przez instalację uziemiającą.
- Uziemienie: Ogół środków i przedsięwzięć wykonanych w celu uziemienia.
- Uziom poziomy: Uziom, który jest ułożony w gruncie na niewielkiej głębokości, do około 1 m. Może być wykonany z metalowej taśmy, pręta o przekroju okrągłym lub liny, jako uziom promieniowy, otokowy, kratowy lub o konfiguracji będącej ich kombinacją.
- Uziom pionowy: Uziom, który zwykle jest ułożony lub wbity pionowo w grunt na głębokość większą niż 1 m. Może być wykonany np. z rury, pręta o przekroju okrągłym lub innego kształtownika.
- Uziom kablowy: Kabel, którego powłoka, ekran lub pancierz dają ten sam efekt, co taśmowy uziom poziomy.
- Uziom fundamentowy: Przewodząca część konstrukcji umieszczona w betonie stykającym się z ziemią na dużej powierzchni.
- Uziom wyrównawczy: Uziom, który dzięki swojej konfiguracji i ułożeniu jest zastosowany raczej do wyrównywania potencjału niż do uzyskania określonej rezystancji uziemienia.
- Uziom naturalny: Część metalowa, mająca styczność elektryczną z ziemią lub wodą bezpośrednio lub poprzez beton, która wykonana została do innych celów niż uziemienie,

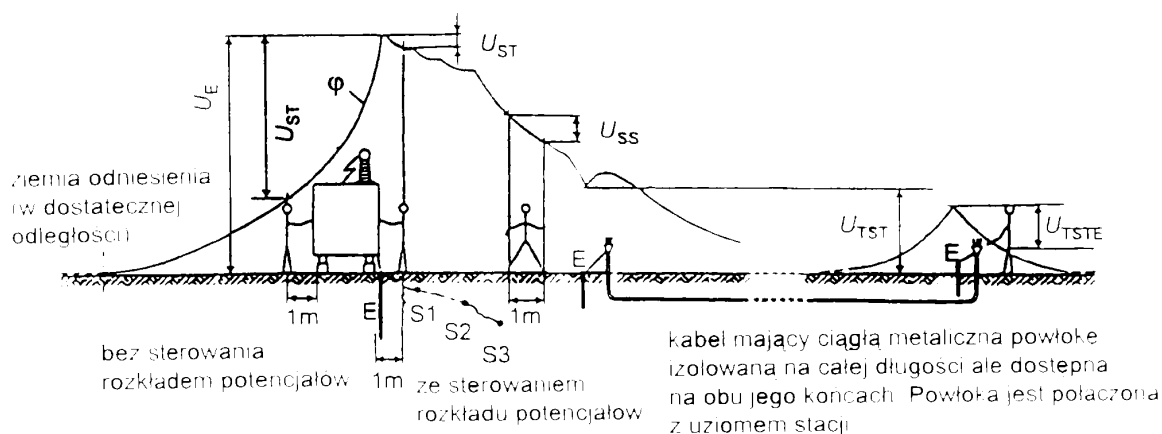
ale spełnia wszelkie wymagania stawiane uziomowi bez zmniejszenia przydatności tej części do zadań podstawowych. Mogą to być np. rurociągi, szczelne ścianki, zbrojenia betonowych pali, części stalowe budynków itp.

- Uziemienie ochronne: Uziemienie części przewodzących, które nie są częściami czynnymi, wykonane dla ochrony ludzi przed porażeniem elektrycznym.
- Uziemienie robocze: Uziemienie określonego punktu obwodu roboczego, dla uzyskania poprawnego działania urządzenia lub stacji.
- Uziemienie odgromowe: Uziemienie przeznaczone do odprowadzania prądu pioruna do ziemi.
- Rezystywność gruntu (ρ_E): Rezystywność gruntu jest rezystancją właściwą gruntu.
- Rezystancja uziemienia (R_E): Rezystancją uziemienia jest rezystancja występująca pomiędzy uziomem a ziemią odniesienia.
- Impedancja uziemienia (Z_E): Impedancją uziemienia jest impedancja występująca pomiędzy uziomem a ziemią odniesienia.
- Napięcie uziomowe (U_E): Napięcie uziomowe jest napięciem występującym podczas doziemienia pomiędzy układem uziomowym i ziemią odniesienia.
- Potencjał na powierzchni gruntu (φ): Potencjał punktu na powierzchni gruntu względem potencjału ziemi odniesienia - patrz rys. 2.1.
- Napięcie dotykowe rażeniowe (U_T): Napięcie dotykowe rażeniowe jest częścią napięcia uziomowego, wywołanego doziemieniem, które może pojawić się na ciele człowieka zakładając, że prąd przepływa przez ciało człowieka na drodze ręka-stopy (pozioma odległość do części dotykanej 1 m).
- Napięcie dotykowe spodziewane (U_{ST}): Napięcie, które pojawia się podczas doziemienia między częściami przewodzącymi a ziemią, gdy części te nie są dotykane.
- Napięcie krokowe rażeniowe (U_S): Napięcie krokowe rażeniowe jest częścią napięcia uziomowego wywołanego doziemieniem, które może pojawić się na ciele człowieka między stopami rozstawionymi na odległość 1 m, zakładając, że prąd przepływa przez ciało człowieka na drodze stopa-stopa.
- Połączenie ekwipotencjalne: Przewodzące połączenie pomiędzy częściami przewodzącymi, którego zadaniem jest zmniejszenie potencjałów między tymi częściami.
- Potencjał przenoszony: Napięcie uziomowe układu uziomowego wywołane prądem uziomowym przeniesione przez przewód łączący (np. metalową powłokę kabla, przewód PEN, rurociąg, szyny) na tereny o niskim lub zerowym potencjale względem ziemi odniesienia. W stosunku do tego przewodu może powstać różnica potencjału, którego wartość jest zależna od otaczającego przewód środowiska. Odnosi się to również do przewodu, który przechodzi z ziemi odniesienia na teren o podwyższonym potencjale.
- Zespolona instalacja uziemiająca: Równoważny układ uziemiający, utworzony przez wzajemne połączenie lokalnych instalacji uziemiających, który dzięki bliskości instalacji uziemiających zapewnia, że nie występują wówczas niebezpieczne napięcia dotykowe. Rozwiązanie to prowadzi do takiego rozplywu prądu zwarcia doziemnego, który powoduje obniżenie napięcia uziomowego w lokalnej instalacji uziomowej i kształtuje prawie ekwipotencjalną powierzchnię.

W normie [62] wprowadzono również następujące terminy związane z sieciami elektroenergetycznymi:

- Sieć z punktem neutralnym izolowanym: Sieć, w której punkty neutralne transformatorów i generatorów nie są rozmyślnie połączone z ziemią, z wyjątkiem połączeń o dużej impedancji, wykonanych dla celów sygnalizacji, pomiarów z zabezpieczeń.
- Sieć skompensowana: Sieć, w której przynajmniej jeden punkt neutralny transformatora lub transformatora uziemiającego jest uziemiony przez dławik gaszący, a łączna

indukcyjność wszystkich dławików gaszących w sieci jest zasadniczo dostosowana do pojemności doziemnej sieci.



Rys. 1.2. Przykładowy rozkład potencjału na powierzchni gruntu i napięcia wywołane prądem uziomowym

- Sieć z punktem neutralnym uziemionym przez małą impedancję: Sieć, w której przynajmniej jeden punkt neutralny transformatora, transformatora uziemiającego lub generatora jest uziemiony bezpośrednio lub przez impedancję tak dobraną, że zwarcie doziemne powstałe w dowolnym miejscu wywoła przepływ prądu zwarciovego o wartości, która doprowadzi do pewnego wyłączenia prądu zwarciovego. Sieci z izolowanym punktem neutralnym lub sieci skompensowane, których punkty neutralne przy każdym wystąpieniu zwarcia doziemnego są na krótki czas uziemiane, zalicza się do sieci z punktem neutralnym uziemionym przez małą impedancję.
- Sieć z punktem neutralnym lub przewodem fazowym uziemionym dorywczo: Sieć z izolowanym punktem neutralnym lub sieć skompensowana, w której w przypadku braku naturalnego zaniku doziemienia punkt neutralny lub przewód fazowy obwodu roboczego jest w kilka sekund po pojawieniu się doziemienia uziemiony bezpośrednio lub przez impedancję o małej wartości.

W normie [62] brak jest zdefiniowania sieci z punktem neutralnym uziemionym przez rezystor (duża rezystancja), przypadek ten jest uwzględniony w normie IEC z 2002 roku [26].

Podane powyżej określenia zostaną uzupełnione o określenia dotyczące zwarć doziemnych:

- Doziemienie: Przewodzące połączenie powstałe na skutek zwarcia pomiędzy przewodem fazowym obwodu roboczego i ziemią lub częścią uziemioną. Połączenie takie może także powstać przez łuk elektryczny. Doziemienia dwóch przewodów lub większej liczby przewodów fazowych tej samej sieci w różnych miejscach są określane jako doziemienie podwójne lub wielokrotne.
- Prąd doziemienia (I_F): Prąd doziemienia jest prądem w miejscu doziemienia, płynącym od obwodu roboczego do ziemi lub części uziemionej. Za wartość prądu pojedynczego doziemienia przyjmuje się:
 - ♦ w sieci z punktem neutralnym izolowanym, pojemnościowy prąd zwarcia z ziemią (I_C),
 - ♦ w sieci skompensowanej, prąd resztkowy zwarcia doziemnego (I_{Res}),
 - ♦ w sieci z punktem neutralnym uziemionym przez mały opór, prąd początkowy jednofazowego zwarcia doziemnego (I''_{k1}).
- Prąd uziomowy (I_E): Prąd uziomowy jest prądem płynącym do ziemi przez impedancję układu uziomowego. Prąd uziomowy jest częścią prądu zwarcia doziemnego. Prąd uziomowy powoduje pojawienie się napięcia uziomowego.

- Współczynnik redukcyjny (r): Współczynnik redukcyjny linii trójfazowej jest stosunkiem prądu ziemnopowrotnego do sumy prądów kolejności zerowej, płynących w przewodach fazowych obwodu roboczego z dala od miejsca zwarcia i od układu uziomowego instalacji. Współczynnik redukcyjny wyraża się wzorem:

$$r = \frac{I_E}{3 \cdot I_0} = \frac{3 \cdot I_0 - I_{EW}}{3 \cdot I_0} \quad (1.1)$$

gdzie:

- $3 \cdot I_0$ - prąd zwarcia doziemnego równy sumie prądów kolejności zerowej,
- I_{EW} - prąd płynący w przewodzie odgromowym.

Wzór (1.1) można również stosować dla kabli ułożonych w ziemi mających metalową powłokę, ekran, pancerz, żyłę powrotną lub osłonę w postaci rury. Prąd płynący w powłoce, ekranie, pancerzu, żyłę powrotnej lub osłonie w postaci rury oznaczyć należy jako prąd przewodzi odgromowym.

Współczynnik redukcyjny przewodu odgromowego linii napowietrznej może być obliczony w oparciu o wartości impedancji przewodu odgromowego Z_{EW-E} i impedancji wzajemnej pomiędzy przewodami fazowymi i przewodem odgromowym Z_{ML-EW} zgodnie ze wzorem:

$$r = 1 - \frac{Z_{ML-EW}}{Z_{EW-E}} \quad (1.2)$$

Wartości współczynnika redukcyjnego r dla kilku wybranych linii i kabli podano w tabl. 1.2.

Tabl. 1.2. Typowe wartości współczynnika redukcyjnego r

Lp.	Typ linii	r
1	Linia napowietrzna 110 kV, przewód odgromowy stal 50÷70 mm ²	0,98
2	Linia napowietrzna 110 kV, przewód odgromowy AF1 1,6, 44 mm ²	0,77
3	Linia napowietrzna 110 kV, przewód odgromowy AF1 6, 300 mm ²	0,61
4	Kabel z izolacją papierową 10, 20 kV, Cu 95 mm ² , powłoka ołowiana 1,2 mm	0,20÷0,60
5	Kabel z izolacją papierową 10, 20 kV, Al 95 mm ² , powłoka aluminiowa 1,2 mm	0,20÷0,30
6	Kabel XLPE jednożyłowy 10, 20 kV, Cu 95 mm ² , ekran miedziany 16 mm ²	0,50÷0,60
7	Kabel olejowy 110 kV, Cu 300 mm ² , powłoka aluminiowa 2,2 mm	0,37
8	Kabel z gazem pod ciśnieniem, umieszczony w stalowej rurze 110 kV, Cu 300 mm ² , stal 1,7 mm	0,01÷0,03
9	Kabel XLPE jednożyłowy 110 kV, Cu 300 mm ² , ekran miedziany 35 mm ²	0,32
10	Kabel olejowy 400 kV, Cu 1200 mm ² , powłoka aluminiowa 1200 mm ²	0,01

2. UKŁADY POŁĄCZEŃ STACJI

2.1. UWAGI OGÓLNE

Układy połączeń stacji mogą być klasyfikowane na podstawie różnych kryteriów podziału. Najbardziej istotny wydaje się podział ze względu na sposób rozwiązania połączeń pomiędzy polami (liniami i transformatorami) występującymi w stacji. Przede wszystkim można tu wyróżnić układy:

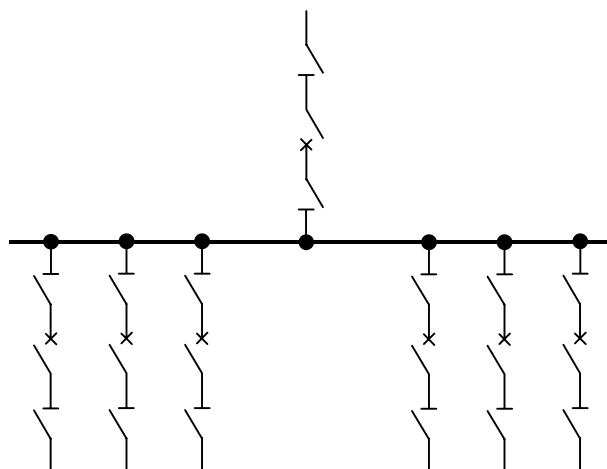
- szynowe,
- bezszynowe.

Układy szynowe mogą być jedno-, dwu- lub trójsystemowe, sekcjonowane lub niesekcjonowane, bez szyn pomocniczych i z szynami pomocniczymi. Układy bezszynowe to blokowe, mostkowe (typu H) lub wielobokowe.

Stacja najczęściej składa się z kilku rozdzielni powiązanych transformatorami. Schematy poszczególnych rozdzielni w stacji mogą być różne. Układy połączeń stacji można przedstawić na schematach strukturalnych i schematach zasadniczych. Na schematach strukturalnych przedstawiane są tylko te urządzenia rozdzielni (najczęściej tylko wyłączniki i odłączniki), które pozwalają na określenie możliwych konfiguracji. Schematy zasadnicze zawierają pełny zestaw urządzeń rozdzielni i powiązań między nimi. Na schematach zasadniczych podaje się numerację pól, systemów i sekcji szyn zbiorczych oraz oznaczenia typów urządzeń i ich podstawowe parametry.

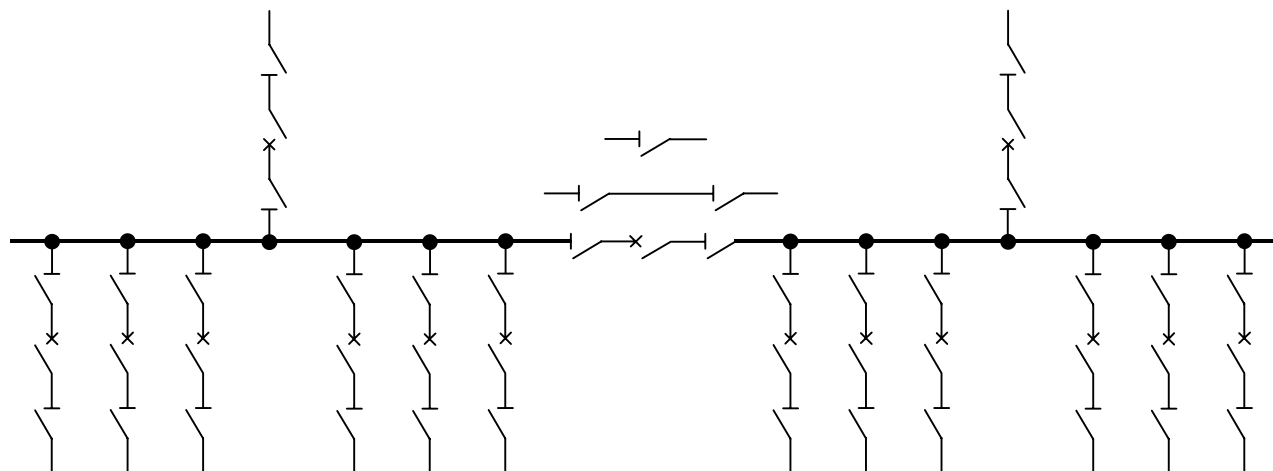
2.2. POJEDYNCZY SYSTEM SZYN ZBIORCZYCH

Pojedynczy system szyn zbiorczych (rys. 2.1) poza rozdzielniami niskiego napięcia stosowany jest powszechnie w rozdzielniach średnich napięć zasilających mniej ważnych odbiorców. Schemat taki nie zapewnia dużej pewności zasilania odbiorców, ponieważ każde zakłócenie na szynach zbiorczych powoduje pozbawienie zasilania wszystkich pól odbiorczych. Zaletą takiego układu są małe nakłady inwestycyjne. Pewność takiego układu może być jednak znacznie zwiększona przez stosowanie rozwiązań konstrukcyjnych ograniczających możliwość powstania zwarć na szynach zbiorczych np. przez izolowanie szyn zbiorczych izolacją stałą lub izolacją SF₆.



Rys. 2.1. Schemat stacji jedno-sekcyjnej z pojedynczym systemem szyn zbiorczych

Wady pojedynczego systemu szyn zbiorczych można częściowo usunąć przez zastosowanie sekcjonowania szyn zbiorczych (rys. 2.2). Układ taki może być stosowany w przypadku istnienia, co najmniej dwóch źródeł zasilania rozdzielni.



Rys. 2.2. Schemat stacji dwusekcyjnej z pojedynczym systemem szyn zbiorczych

Sekcje łączone są sprzęgłem podłużnym pełnym z jednym lub z dwoma odłącznikami. Dwa odłączniki stosuje się w celu umożliwienia naprawy odłącznika sekcyjnego przy wyłączeniu tylko jednej sekcji. Zakłócenia powstałe na szynach zbiorczych nie powodują wyłączenia całej rozdzielni, lecz tylko jednej sekcji. Sekcjonowanie szyn zbiorczych stosowane jest również dla umożliwienia rozcięcia sieci w jej węzłowych punktach w celu ograniczenia wartości prądów zwarciovych. Niezawodność zasilania w przypadku uszkodzenia jednego źródła zasilania można zwiększyć przez zastosowanie automatyki SZR na wyłączniku sekcyjnym. Sekcjonowanie stosuje się również dla rozdzielania odbiorów o różnym charakterze, np. do jednej sekcji przyłącza się odbiory niespokojne wywołujące wahania napięcia w celu ograniczenia zasięgu tych wahań.

2.3. PODWÓJNY SYSTEM SZYN ZBIORCZYCH

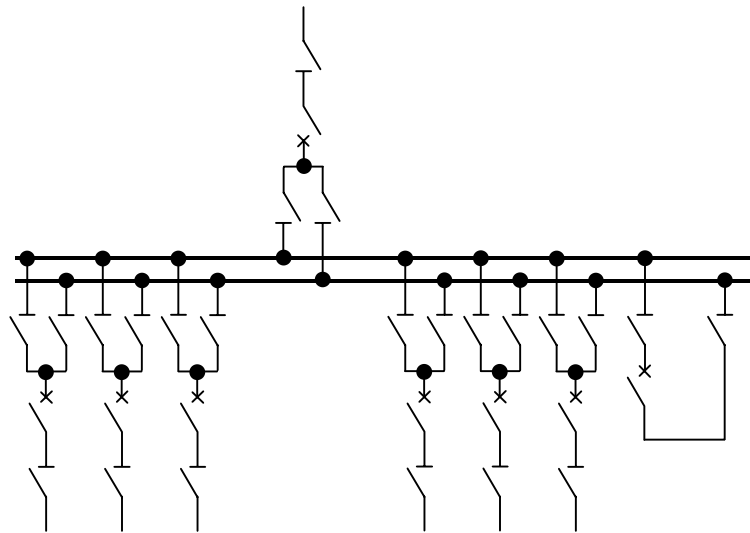
W sieciach średnich i wysokich napięć szerokie zastosowanie mają rozdzielnie z podwójnym systemem szyn zbiorczych uzupełnionym łącznikiem systemowym szyn, czyli sprzęgłem poprzecznym (rys. 2.3). Podwójny system szyn zbiorczych powoduje wzrost kosztów rozdzielni o 15-25 %, stąd należy dokładnie przeanalizować potrzebę takiego rozwiązania. Cechą charakterystyczną tego układu jest możliwość przyłączenia każdego pola do obu systemów szyn zbiorczych za pomocą odłączników. Zalety podwójnego systemu szyn zbiorczych:

- możliwość przetrzucania obciążenia z jednego systemu szyn zbiorczych na drugi w razie uszkodzenia jednego z nich,
- możliwość dokonywania czynności konserwacyjnych, kolejno na każdym z systemów szyn zbiorczych bez przerwy w pracy rozdzielni,
- zwiększenie elastyczności pracy rozdzielni.

Większa elastyczność rozdzielni wyraża się możliwością pracy rozdzielni w normalnym stanie dwojako:

- wszystkie pola mogą być przyłączone do jednego systemu szyn zbiorczych, podczas gdy drugi pozostaje rezerwowym,
- oba systemy pracują równocześnie, pola są przyłączone do jednego lub drugiego z nich.

Pierwszy przypadek jest np. korzystny w razie konieczności częstego czyszczenia szyn zbiorczych. W drugim przypadku konfiguracja rozdzielni sprowadza się do pojedynczego systemu szyn zbiorczych, z tą zaletą, że dowolne pola można łączyć ze sobą niezależnie od ich usytuowania w rozdzielni.



Rys. 2.3. Schemat stacji jednosekcyjnej z podwójnym systemem szyn zbiorczych

Poza tym systemowy łącznik szyn (sprzęgła poprzeczne) służy do:

- rezerwowania uszkodzonego wyłącznika pola zasilającego lub odbiorczego,
- łączenia lub rozłączania dwóch systemów szyn do pracy równoległej.

Przełączanie pól w celu wyłączenia jednego systemu szyn spod napięcia wykonuje się w następujący sposób. Przyjmijmy, że przed przełączeniem wszystkie pola rozdzielni są przyłączone do pierwszego systemu szyn zbiorczych, wyłącznik sprzęgła i jego odłączniki są otwarte. Kolejność czynności łączeniowych jest następująca:

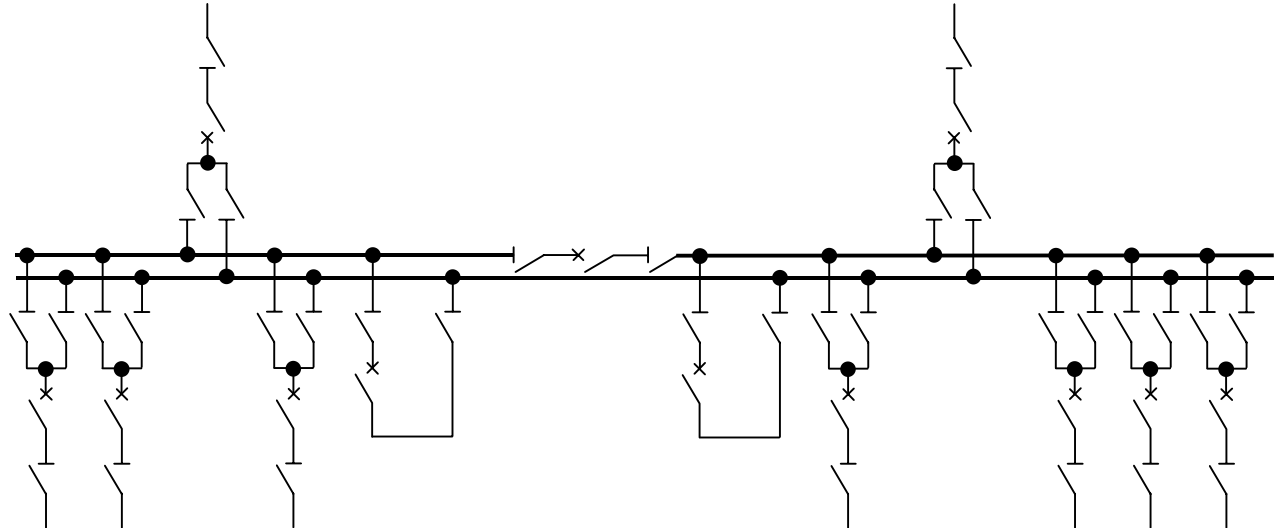
- zamykamy oba odłączniki w polu sprzęgła,
- zamykamy wyłącznik sprzęgła, w przypadku, gdyby drugi system szyn zbiorczych był niesprawny i powstało na nim zwarcie zabezpieczenia pola sprzęgła spowodowałyby jego otwarcie,
- zamykamy odłącznik szynowy drugiego systemu szyn zbiorczych i otwieramy odłącznik szynowy pierwszego systemu szyn zbiorczych kolejno we wszystkich polach, oczywiście z wyjątkiem pola sprzęgła,
- otwieramy wyłącznik sprzęgła,
- otwieramy odłączniki sprzęgła.

Uszkodzony wyłącznik pola rozdzielni zastępujemy wyłącznikiem sprzęgła w następujący sposób. Jest to możliwe, gdy jeden z systemów szyn zbiorczych jest wolny. Przyjmijmy następujący stan wyjściowy: drugi system szyn odłączony od napięcia, sprzęgła otwarte, w polu z uszkodzonym wyłącznikiem wszystkie odłączniki są otwarte, pole przygotowane do pracy. Kolejność czynności jest następująca:

- rozmontowujemy połączenia uszkodzonego wyłącznika i usuwamy go z rozdzielni,
- w miejscu usuniętego wyłącznika zakładamy prowizoryczne połączenia szynowe (o wymaganej w rozdzielni wytrzymałości zwarciowej),
- przygotowujemy pole do załączenia i zamykamy odłącznik szynowy systemu drugiego (wolnego) i odłącznik liniowy,
- zamykamy odłączniki sprzęgła,

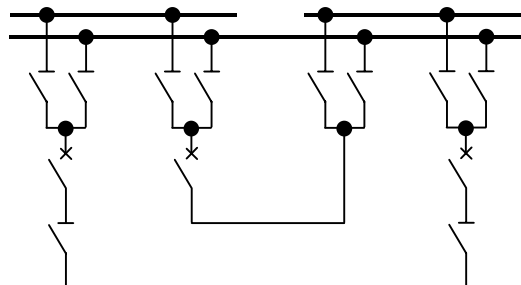
- zamykamy wyłącznik sprzęgła.

W układach z podwójnym systemem szyn zbiorczych na ogół stosuje się sekcjonowanie szyn zbiorczych, co zwiększa elastyczność rozdzielni (rys. 2.4). Na ogół sekcjonuje się tylko jeden system szyn zbiorczych, wówczas drugi pełni rolę systemu rezerwowego. Stosuje się wówczas sprzęgło podłużne między sekcjami systemu głównego i dwa sprzęgła poprzeczne.



Rys. 2.4. Schemat stacji dwusekcyjnej z podwójnym systemem szyn zbiorczych

Jest to rozwiązanie wygodne dla obsługi i dające większą elastyczność rozdzielni, lecz drogie (trzy wyłączniki). Dlatego często stosuje się sprzęgło podłużno-poprzeczne.



Rys. 2.5. Schemat sprzęgła podłużno-poprzecznego

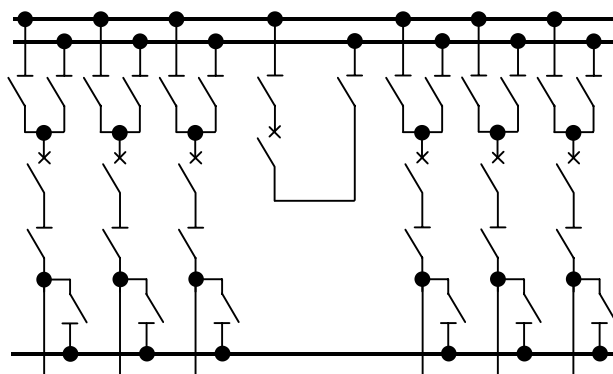
Wadą takiego rozwiązania jest niemożliwość użycia sprzęgła do łączenia sekcji szyn w przypadku, gdy wyłącznik sprzęgła zastępuje uszkodzony wyłącznik w jednym z pól. Wady układów z podwójnym systemem szyn zbiorczych to:

- w przypadku powstania zakłócenia na jednym systemie szyn zbiorczych, czy jednej sekcji systemu zostają pozbawione zasilania wszystkie pola przyłączone do tych szyn,
- odstawienie wyłącznika do przeglądu wymaga przerwy w pracy pola,
- duża liczba operacji odłącznikami szynowymi przy przechodzeniu z jednego systemu na drugi i przy zastępowaniu uszkodzonego wyłącznika.

2.4. ROZDZIELNIA Z SZYNAMI OBEJŚCIOWYMI I POŁĄCZENIAMI OBEJŚCIOWYMI

Rozdzielnie z szynami obejściowymi (rys. 2.6) znajdują przede wszystkim zastosowanie w sieciach wysokich i bardzo wysokich napięć w przypadkach, gdy koniecznym jest utrzymanie ciągłości zasilania poszczególnych pól rozdzielni podczas prac eksploatacyjnych lub poawaryjnych przy wyłącznikach tych pól. Ma to zastosowanie w tych rozdzielniach, w których ze względu na dużą częstość łączeń zakłóceń i roboczych prace konserwacyjne i uszkodzenia wyłącznika znacznie obniżają pewność zasilania (ciągłość) poszczególnych pól.

Zmniejszenie kosztów rozdzielni można uzyskać przez zastosowanie "szczętkowej szyny obejściowej", czyli szyny obejściowej tylko dla niektórych pól zasilających lub ważnych linii na powietrznych narażonych na częste wyładowania atmosferyczne prowadzące do częstego działania wyłączników. Np. w rozdzielniach 110 kV stosuje się szczętkową szynę dla transformatorów zasilających dużych mocy (250, 400 MVA), natomiast pola liniowe nie są przyłączane do szyny obejściowej, ponieważ sieć 110 kV jest na tyle rozwinięta, że można zapewnić zasilanie odbioru inną linią. Koszt budowy rozdzielni można zmniejszyć przez zrezygnowanie z systemu szyn obejściowych i wykonanie w poszczególnych polach połączeń obejściowych do jednego z systemów roboczych. Dla tego układu połączeń można również odstawić wyłącznik do przeglądu lub remontu bez przerwy w pracy pola, jest on jednak znacznie mniej elastyczny niż z systemem obejściowym.



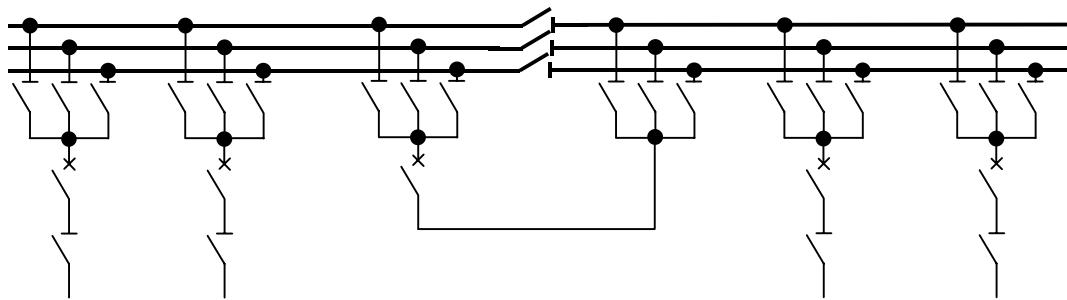
Rys. 2.6. Schemat stacji jednosekcyjnej z podwójnym systemem szyn zbiorczych i z szyną obejściową

2.5. WIELOKROTNY SYSTEM SZYN ZBIORCZYCH

W przypadku dużych rozdzielni zasilanych z dużych elektrowni lub z kilku elektrowni z dużą liczbą pól odpływowych mają zastosowanie układy z potrójnym, sekcjonowanym systemem szyn zbiorczych (rys. 2.7). Pozwalają one na:

- asynchroniczną pracę poszczególnych systemów,
- umożliwiają ograniczenie prądów zwarciovych,
- umożliwiają rezerwowanie szyn zbiorczych,
- zwiększają elastyczność pracy węzła.

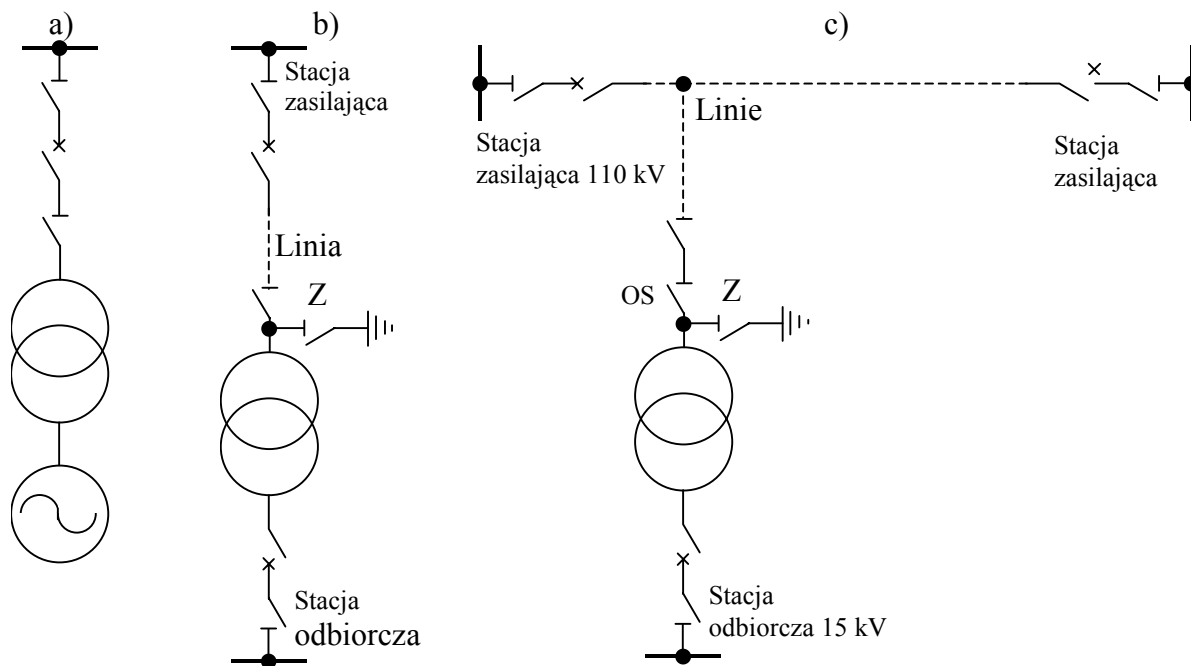
Dla uzyskania wyżej wymienionych zalet stosuje się dwa sprzęgła poprzeczne i jedno podłużno-poprzeczne. Rozdzielnie trójsystemowe są trochę bardziej niezawodne niż dwusystemowe, jednak charakteryzują się większą złożonością wszelkiego rodzaju przełączeń, powoduje to możliwość dokonania błędnych czynności łączeniowych. Obecnie układ ten nie znajduje większego uznania w eksploatacji i u projektantów. Bywa również stosowany potrójny system szyn zbiorczych z szyną obejściową.



Rys. 2.7. Schemat stacji dwusekcyjnej z potrójnym systemem szyn zbiorczych

2.6. UKŁADY BLOKOWE

W układach blokowych generatory, transformatory i linie połączone są ze sobą bez pośrednictwa wyłącznika wysokiego napięcia i szyn zbiorczych. Układy takie stosuje się przede wszystkim ze względu na małe nakłady inwestycyjne. Ze względu na brak możliwości rezerwowania odznaczają się małą niezawodnością. Przykład najprostszego układu blokowego generator-transformator blokowy jest na rys. 2.8a) a układu linia-transformator dla przypadku zasilania stacji odbiorczej przedstawiony na rys. 2.8b).



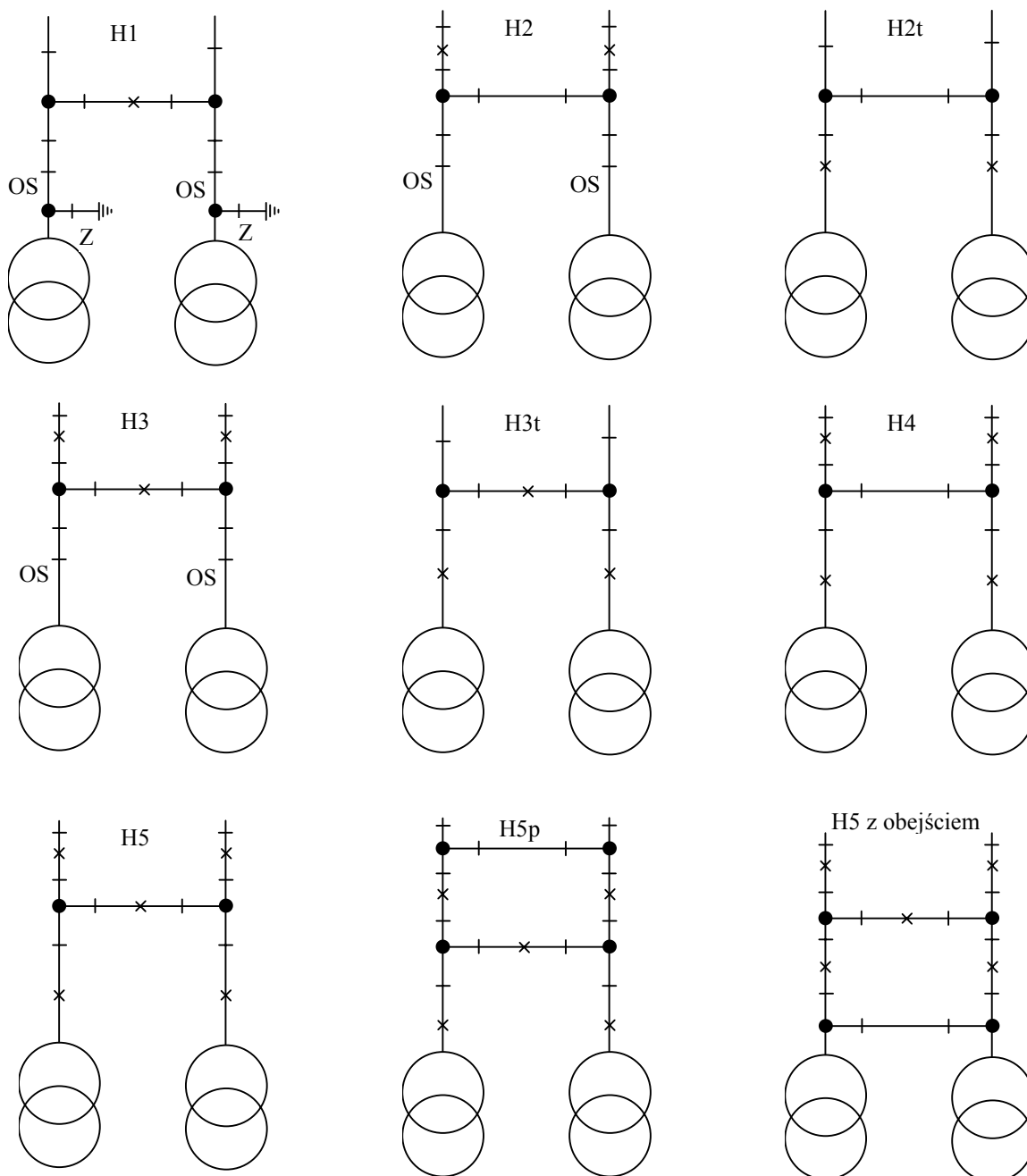
Rys. 2.8. Schematy typowych układów blokowych

W celu zapewnienia prawidłowej pracy zabezpieczeń i automatyki stosuje się po stronie górnego napięcia transformatora zmiennik. Jeżeli nastąpi zwarcie w transformatorze zmiennik otrzymuje impuls powodujący jego zamknięcie i powstanie metalicznego zwarcia z ziemią od strony linii. Z kolei to zwarcie jest w stanie pobudzić zabezpieczenia na początku linii powodując samoczynne wyłączenie wyłącznika. Proste układy blokowe stosowane były np. w stacjach 110 kV zasilających mniej ważne sieci rozdzielcze 15 kV. Stacje takie były zasilane odczepowo z linii 110 kV wyposażonej na obu końcach w wyłączniki. Schemat takiej stacji przedstawiony jest na rys. 2.8c). W tym wypadku zastosowano dodatkowo odłącznik z napędem szybkim OS samoczynnie odłączy

stację w wypadku powstania zwarcia w transformatorze. Odłączenie następuje w przerwie beznapięciowej cyklu SPZ wyłączników na obu końcach linii przesyłowej 110 kV.

2.7. UKŁADY MOSTKOWE

W przypadku stacji z dwoma polami liniowymi i dwoma transformatorami stosuje się najczęściej układy mostkowe zwane również układami H. Na rys. 2.9 przedstawione są trzy układy mostkowe z jednym, dwoma, trzema, czterema lub pięcioma wyłącznikami.



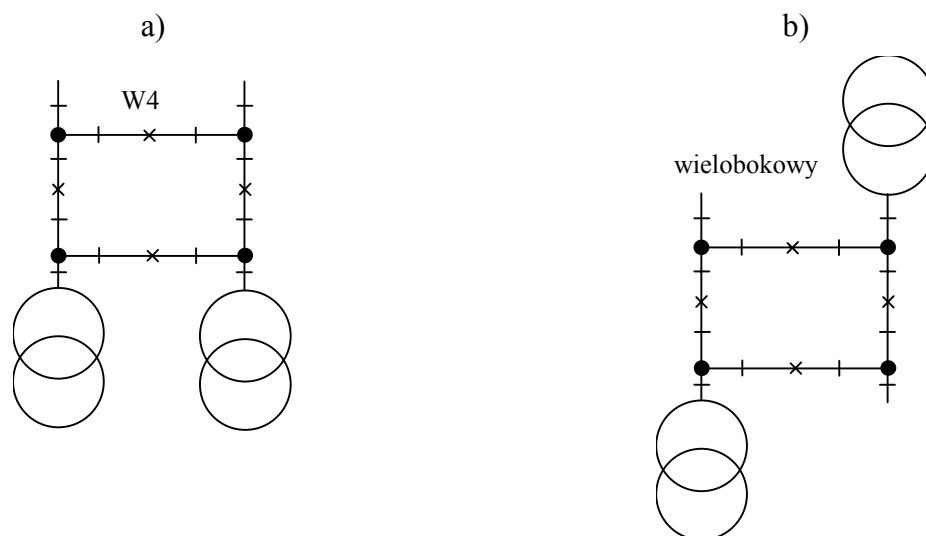
Rys. 2.9. Schematy typowych stacji w układzie mostkowym

Rozwiązanie H2 z wyłącznikami w polach liniowych stosuje się w stacjach zasilanych stosunkowo długimi liniami napowietrznymi ze względu na częste wyłączanie zwarć trwałych i przemijających

w cyklu SPZ. Zwarcie w jednej linii nie powoduje zakłócenia w pracy transformatorów, które mogą być zasilane drugą linią. W razie zwarcia w transformatorze następuje przerwa w pracy jednej linii. Jeżeli są to linie 110 kV to przed transformatorami można zainstalować dodatkowo odłączniki szybkie. Wówczas awaryjne odłączenie transformatora następuje w przerwie beznapięciowej obu przyległych wyłączników (automatyka powtórnego zamykania wyłącznika PZW). Rozwiązanie H3t jest korzystne w przypadku stacji przelotowych o zmiennym obciążeniu transformatorów zasilanych krótkimi liniami kablowymi. Wyłączniki w polach transformatorów umożliwiają częste łączenie transformatorów. Zwarcie w linii powoduje wyłączenie wyłącznika na jej początku i w poprzeczce, na skutek, czego jeden transformator zostaje pozbawiony zasilania. Zwarcie w transformatorze nie powoduje przerwy w przesyle energii liniami. Układ H2, H3 czy H3t są również stosowany w stacjach przelotowych zasilanych liniami napowietrznymi ze względu na częste wyłączanie linii i zastosowanie SPZ-u.

2.8. UKŁADY WIELOBOKOWE

Schematy wielobokowe (rys. 2.10) posiadają następujące cechy: każde pole wyposażone jest w dwa wyłączniki, każdy wyłącznik obsługuje dwa pola. Zapewnia to dużą pewność zasilania pól odbiorczych przy małych nakładach inwestycyjnych. Układy wielobokowe pozwalają na przeprowadzenie remontu dowolnego wyłącznika bez przerwy w pracy rozdzielni i bez przerwy w zasilaniu jakiegokolwiek pola. Odłączniki w każdym boku służą jedynie do odłączania od napięcia swojego wyłącznika. Odłączniki pól służą do odłączania od napięcia tego pola wyłączzonego uprzednio przez dwa wyłączniki sąsiadujących boków wieloboku. Przykład układu wielobokowego w postaci czworokąta przestawiony jest na rys. 2.10a).



Rys. 2.10. Układy wielobokowe

Układy wielobokowe mają również wady. Otwarcie wyłącznika powoduje rozcięcie wieloboku. W tym stanie uszkodzenie linii lub transformatora powoduje podział wieloboku na dwie części, w których moc dosyłana i odbierana nie muszą się bilansować zgodnie z potrzebami. Przez urządzenia każdego boku wieloboku może w razie podziału płynąć prąd będący sumą prądów kilku pól, należy to uwzględnić przy doborze urządzeń. Rozbudowa rozdzielni jest utrudniona. Omówione wady lepiej przeanalizować na rozdzielni składającej się z więcej niż cztery boki. Sieć 750 kV Ukrainy i innych byłych państw socjalistycznych w latach działania międzynarodowej organizacji RWPG została tak ukształtowana, że większość węzłów tworzą trzy linie i dla stacji tych zastosowano układ trójkątowy.

2.9. PODWÓJNY SYSTEM SZYN ZBIORCZYCH Z DWOMA WYŁĄCZNIKAMI NA JEDNO POLE

Zapewnienie dużej pewności zasilania dla węzłów wysokiego napięcia (220 kV i 400 kV) wiążących bloki generator-transformator i linie przesyłające duże moce wymaga zastosowania innych rozwiązań rozdzielni. Jednym z takich rozwiązań jest podwójny system szyn zbiorczych z dwoma wyłącznikami na jedno pole. Schemat takiej rozdzielni przedstawiony jest na rys. 2.11a). W normalnym układzie pracy oba systemy znajdują się pod napięciem, a w każdym polu wszystkie łączniki są zamknięte. W przypadku zwarcia na jednym z systemów szyn zbiorczych następuje samoczynne otwarcie wszystkich wyłączników łączących pola z tym systemem. Nie powoduje to jednak przerwy w pracy pól, ponieważ wszystkie są zasilane ze zdrowego systemu. Odłączniki służą w tym układzie do odłączenia wyłącznika pola lub przyłączonego do niego transformatora czy linii od napięcia. Manewrowanie odłącznikami podczas normalnej pracy rozdzielni jest zbędne. Odstawienie wyłącznika do remontu jest możliwe bez przerwy w pracy pola oraz bez skomplikowanych manipulacji odłącznikami jak to miało miejsce w układzie 2S+O. Awaryjne wyłączenie linii następuje przez otwarcie obu wyłączników pola. Wadą tego niezawodnego i przejrzystego systemu są duże nakłady inwestycyjne ze względu na duży koszt wyłączników WN.

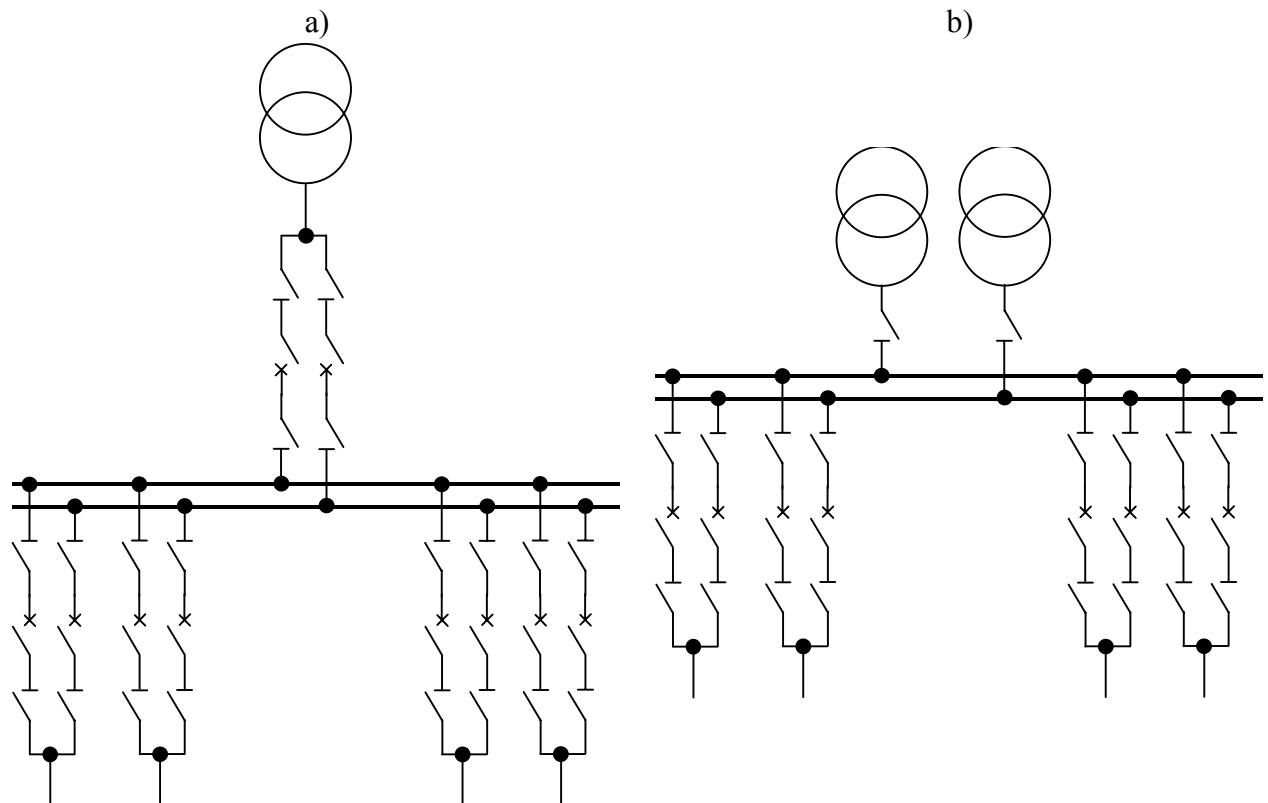
Znacznie tańszym układem, lecz reprezentującym mniejszą pewność w porównaniu z poprzednim jest schemat dwuwylącznikowy zmodyfikowany (zwany również układem transformator-szyny) - rys. 2.11b). Każde pole liniowe jest przyłączone do dwóch systemów szyn zbiorczych za pomocą dwóch wyłączników. Dwa pola zasilające (bloki generator-transformator) są przyłączone każdy tylko do jednego systemu szyn zbiorczych jedynie za pośrednictwem odłącznika. W przypadku zakłócenia na jednym z systemów szyn zbiorczych lub w jednym z transformatorów następuje samoczynne wyłączenie odpowiednich wyłączników w polach liniowych, wszystkie pola pozostają nadal zasilane z drugiego systemu szyn i ze źródła. Również planowe wyłączenie pola zasilającego wymaga wyłączenia odpowiednich wyłączników we wszystkich polach liniowych. Awaryjne wyłączenie linii następuje przez samoczynne wyłączenie obu wyłączników pola tej linii. Układ taki może niewiele ustępować pewnością zasilania pełnemu układowi dwuwylącznikowemu, w przypadku, gdy uszkodzenia linii są znacznie częstsze niż źródeł zasilania, a wyłączenie jednego pola zasilającego nie powoduje ograniczenia w zasilaniu pól liniowych. Przy ograniczeniu liczby pól liniowych do trzech liczba zastosowanych wyłączników jest prawie taka sama jak w układzie jednowylącznikowym.

2.10. UKŁAD PÓLTORAWYŁĄCZNIKOWY

Układ półtorawylącznikowy (rys. 2.12) jest układem dwusystemowym z trzema wyłącznikami na dwa pola. Układ taki składa się z gałęzi, a każda gałąź składa się z trzech mostków. Mostek zawiera jeden wyłącznik i dwa odłączniki po obu stronach wyłącznika. Do każdej gałęzi przyłączone są dwa pola (linie, transformatory). Układ umożliwia odstawienie dowolnego wyłącznika bez przerwy w pracy pola i bez skomplikowanych manipulacji odłącznikami. Zwarcie na jednym z systemów szyn nie powoduje przerwy w pracy rozdzielni, ponieważ wszystkie pola pozostają nadal przyłączone do drugiego systemu szyn zbiorczych. Wadami tego schematu są:

- mniejsza przejrzystość rozwiązania konstrukcyjnego,
- możliwość zmian prądów płynących przez urządzenia mostka przyległego do systemu szyn zbiorczych w przypadku wyłączenia wyłącznika w przeciwległym mostku,
- duża liczba manipulacji wyłącznikami przy odstawianiu pola,
- skomplikowane obwody wtórne.

Łączenie pól w pary nie może być dowolne, lecz musi wynikać z przeznaczenia poszczególnych pól i ich roli w sieci.



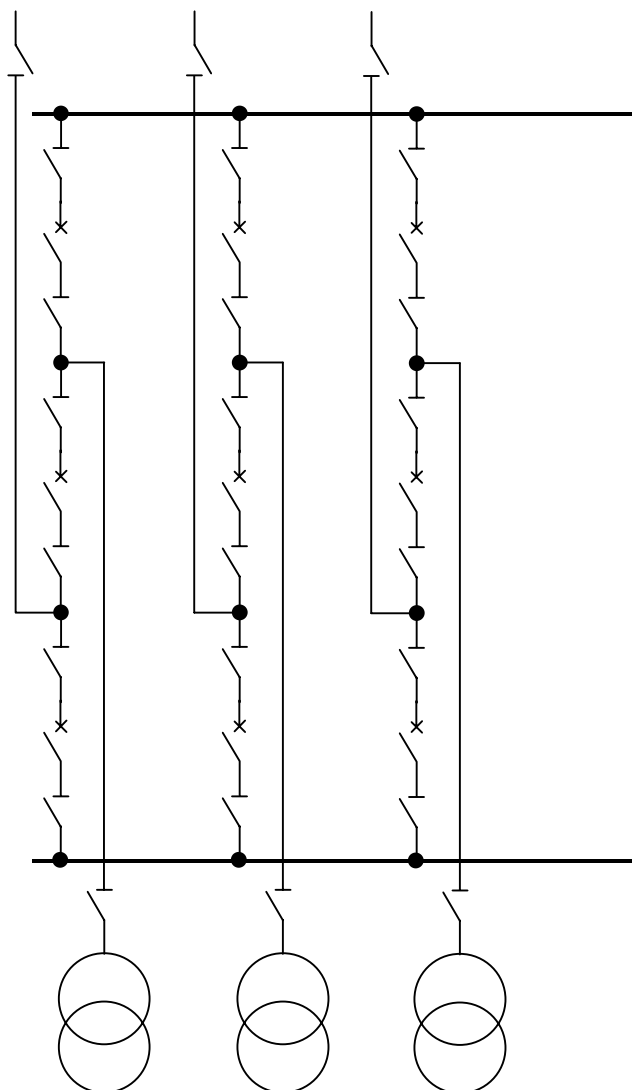
Rys. 2.11. Schemat stacji jednosekcyjnej z podwójnym systemem szyn zbiorczych i z dwoma wyłącznikami

2.11. UKŁADY POŁĄCZEŃ PÓL

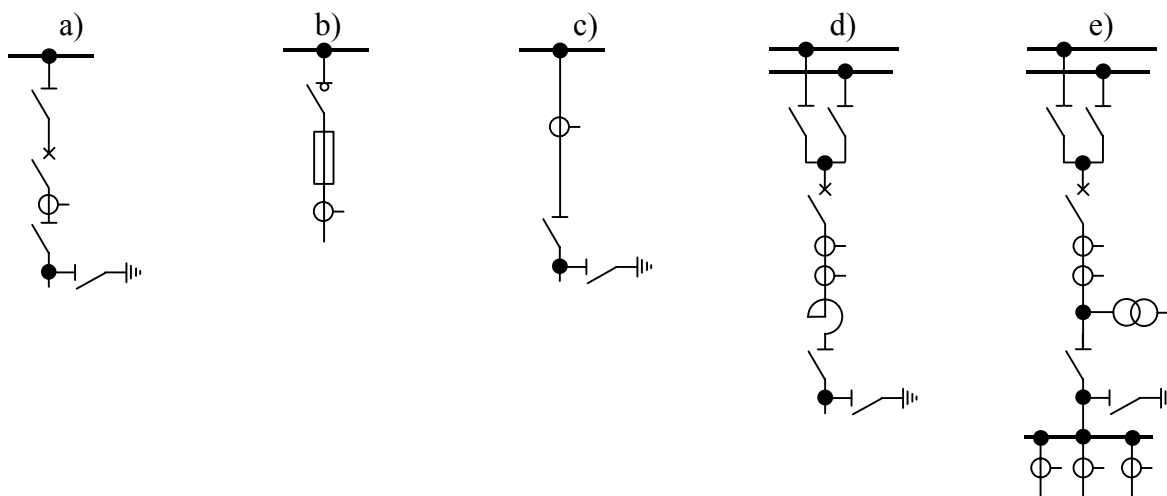
2.11.1. Pole liniowe SN

Pole linii kablowej SN (np. 15 kV) najczęściej jest wyposażone w następujące urządzenia:

- odłącznik lub odłączniki szynowe,
- wyłącznik,
- przekładniki prądowe,
- odłącznik z nożami uziemiającymi,
- głowica kablowa,
- przekładnik prądowy Ferrantiego.



Rys. 2.12. Schemat stacji półtorawyłącznikowej



Rys. 2.13. Schematy typowych pól SN, nn

Do załączania i wyłączania prądów roboczych i zwarciovych służy wyłącznik. Samoczynne jego wyłączenie mogą powodować nabudowane na izolatorach wyłącznika wyzwalacze pierwotne bądź przekaźniki elektroenergetycznej automatyki zabezpieczeniowej zasilane z przekładników prądowych. Przekładniki te są umieszczane zaraz za wyłącznikiem. Liczba rdzeni przekładników i fazy, w których będą zainstalowane ustala się z punktu widzenia potrzeb zabezpieczeń i pomiarów. Odłączniki szynowy i liniowy służy do odłączania pola spod napięcia w tym i linii i stworzenia bezpiecznej przerwy dającej pewność, że pole jest rzeczywiście bez napięcia. Odłączniki otwiera się przy otwartym uprzednio wyłączniku w danym polu. Odłączników liniowych można nie stosować w polu krótkich linii kablowych, które nie mogą otrzymać napięcia z drugiego końca linii. Pola linii napowietrznych zawsze powinny być wyposażone w odłączniki liniowe ze względu na możliwość pojawienia się napięcia wskutek wyładowań atmosferycznych czy zaindukowania się napięcia od sąsiedniej linii. Odłączniki liniowe powinny być wyposażone w noże uziemiające, które służy do uziemienia linii po jej wyłączeniu i odprowadzeniu do ziemi ładunku z naładowanej linii (ładunku wynikającego z pojemności linii). Noże główne i uziemiające odłączników liniowych powinny być zaopatrzone w blokadę mechaniczną lub elektromechaniczną uniemożliwiającą zamknięcie noży uziemiających przy zamkniętych nożach roboczych i odwrotnie. Odłączniki szynowy i liniowy mogą być wyposażone w blokadę mechaniczną lub elektromechaniczną uniemożliwiającą:

- zamknięcie odłącznika przy zamkniętym wyłączniku
- otwarcie odłącznika przy zamkniętym wyłączniku.

W polach liniowych o mniejszych prądach roboczych, gdy nie ma potrzeby stosowania zabezpieczeń przekaźnikowych zamiast wyłączników można stosować rozłączniki bezpiecznikowe (rys. 2.13b). Rozłącznik służy do łączenia prądów roboczych a bezpiecznik do wyłączania prądów zwarciovych. Jeżeli zastosowany rozłącznik jest rozłącznikiem izolacyjnym (tzn. ma widoczną i bezpieczną przerwę między otwartymi stykami) to w polach mniej ważnych rozdzielni nie trzeba instalować odłącznika szynowego i liniowego. W ważniejszych rozdzielniach w celu wyeliminowania przerw w pracy rozdzielni podczas prac eksploatacyjnych przy rozłączniku stosuje się odłączniki szynowe. W takich rozdzielniach przekładnik prądowy zasilają jedynie przyrządy pomiarowe (amperomierz).

Pole zasilające niewielką rozdzielnię niemającą drugiej linii zasilającej może być wyposażone tylko w odłącznik z nożami uziemiającymi i przekładnik prądowy (rys. 2.13c). Również pola końcowe linii wyposażane są najczęściej tylko w odłącznik.

W polach linii kablowych zasilanych napięciem generatorowym zwykle stosuje się dławiki do ograniczania prądów zwarciovych (rys. 2.13d). Dławiki te umieszcza się między przekładnikami prądowymi a odłącznikiem liniowym.

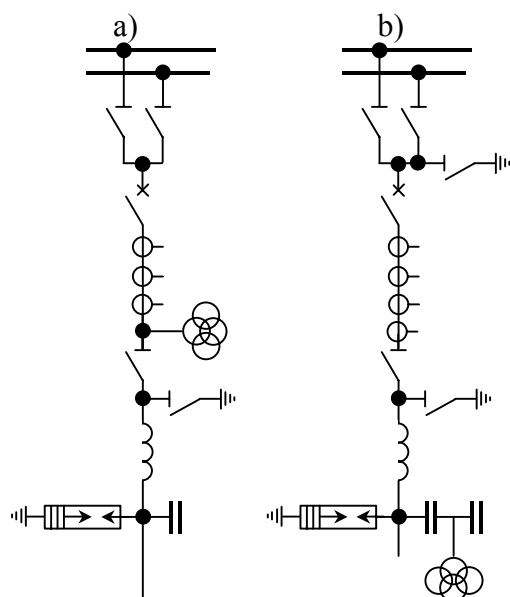
W sieciach przemysłowych występuje czasem potrzeba zastosowania więcej niż jednego kabla trójfazowego (rys. 2.13e). W liniach o większej liczbie kabli zazwyczaj każdy z nich jest wyposażony w przekładnik Ferrantiego.

2.11.2. Pole liniowe WN

Typowe pole liniowe w stacji 400 kV z dwusystemową szyną zbiorczą z dwoma odłącznikami (rys. 2.14) wyposażone jest następująco:

- odłączniki szynowe,
- wyłącznik,
- trzy czterordzeniowe przekładniki prądowe, przy czym poszczególne rdzenie są wykorzystane następująco:
 - ◆ do rozliczenia pomiaru energii,
 - ◆ do pomiaru prądów, mocy oraz do zabezpieczenia rezerwowego linii,
 - ◆ do zabezpieczenia podstawowego linii,

- ◆ do zabezpieczenia szyn zbiorczych.
- odłącznik liniowy z nożami uziemiającymi lub odłącznik liniowy i uziemnik,
- w przypadku istnienia szyny obejściowej odłączni obejściowy z ewentualnymi nożami uziemiającymi,
- dwa dławiki zaporowe łącza telefonicznej energetycznej nośnej (TEN),
- trzy trójzwojeniowe przekładniki napięciowe, których uzwojenia wtórne służą do:
 - ◆ pomiarów,
 - ◆ zabezpieczeń.
- trzy odgromniki zaworowe.



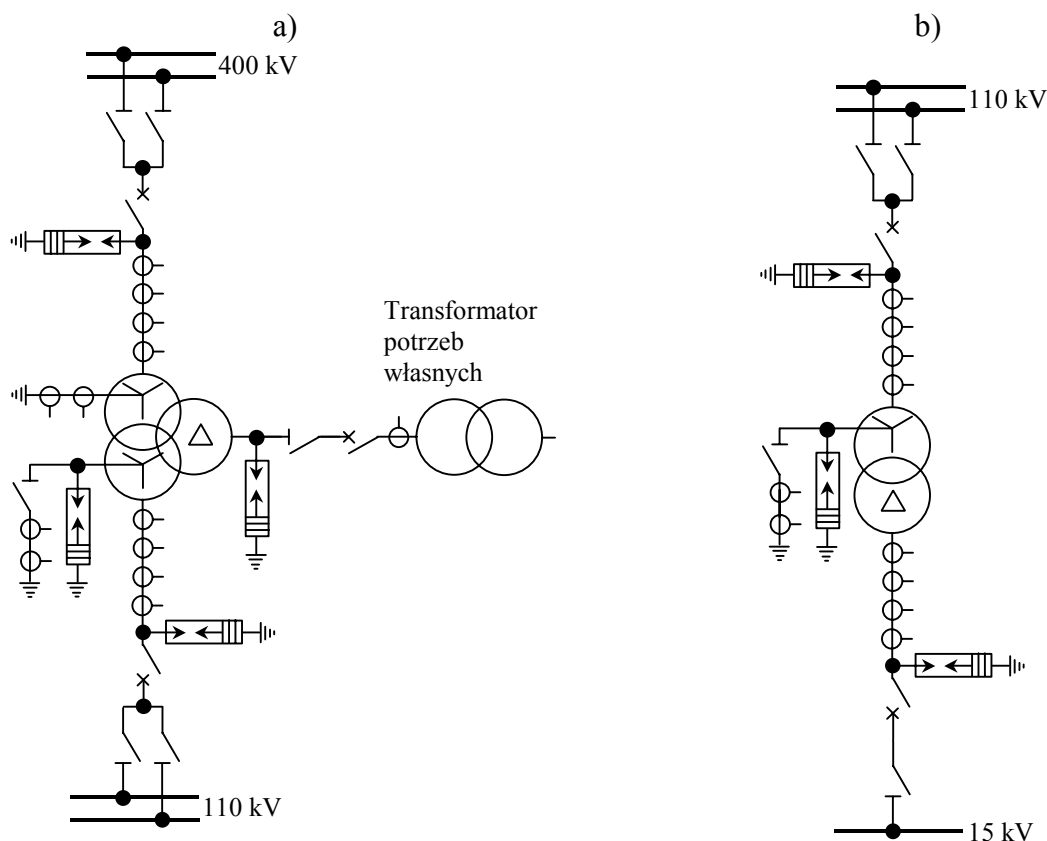
Dla wykonywania prac konserwacyjno-remontowych przy wyłączniku po jego obustronnym odłączeniu od napięcia od stron szyn i linii powinien on być obustronnie uziemiony. Noże uziemiające na jednym z odłączników szynowych pozwalają wygodnie uziemić miejsce pracy od strony szyn zbiorczych. Noże uziemiające odłącznika liniowego służą do uziemienia pola od strony linii. Noże uziemiające odłącznika obejściowego służą do uziemienia linii po jej obustronnym wyłączeniu i odłączeniu napięcia.

Rys. 2.14. Schematy typowych pól WN

2.11.3. Pole transformatorowe

Z każdym transformatorem lub autotransformatorem w zależności od liczby jego uzwojeń współpracują dwa lub trzy pola rozdzielni. Dla małych transformatorów obciążenie może być wyłączane po stronie nN rozłącznikiem lub wyłącznikiem. Odłącznik po stronie GN służy do wyłączania transformatora w stanie jałowym (odłącznik wyłącza wtedy prąd biegu jałowego transformatora), bezpiecznik zaś służy do wyłączania prądów zwarciovych. Bezpiecznik po stronie niskiego napięcia służy do wyłączania przeciążeń. Dla większych transformatorów można zastosować po stronie GN rozłącznik z bezpiecznikami.

W polach transformatorowych dla transformatorów większej mocy należy stosować po obu stronach wyłączniki (rys. 2.15). W polach transformatorowych odłączniki po stronie transformatora należy instalować jedynie w przypadku transformatorów trójzwojennych, aby zapobiec możliwości pojawienia się napięcia na wyłączniku od strony transformatora przy pracy dwóch uzwojeń. Jednak w transformatorze wiążącym sieci 400 kV i 110 kV z uzwojeniem kompensacyjnym nie przewiduje się instalowania odłączników od strony transformatora albowiem taki transformator pracuje na potrzeby własne jedynie, gdy łączy te dwie sieci.



Rys. 2.15. Pola transformatorowe

2.11.4. Pole sprzęgła

Istnieje wiele schematów pól łączników szyn zbiorczych zwanych sprzęgłami. Najprostsze schematy zasadnicze stosowane w rozdzielniach z pojedynczym i podwójnym systemem szyn zbiorczych. Sprzęgła stosowane w rozdzielniach WN są zwykle bardziej złożone. I tak np. sprzęgło poprzeczno-obejściowe wyposażone jest w wyłącznik z dwoma kompletami przekładników prądowych ze względu na podwójną rolę tego sprzęgła: łączenie systemów szyn zbiorczych lub łączenie jednego z systemów z szyną obejściową. Odłączniki szynowe wyposażone są w noże uzimające, co umożliwia uzimienie pola ze wszystkich stron. Dodatkowy uzimnik od strony szyny obejściowej służy do uzimienia szyn zbiorczych obejściowych. Do uzimienia systemów głównych wykorzystuje się noże uzimające odłącznika w polu pomiaru napięcia. Sprzęgło podłużno-poprzeczne umożliwia połączenie zarówno systemów rozdzielni dwusystemowej jak i połączenie dwu sekcji szyn zbiorczych. Uzimniki odłączników szynowych umożliwiają uzimienie wszystkich sekcji i systemów szyn zbiorczych stacji.

2.11.5. Pole pomiaru napięcia

Pola pomiarowe służą do:

- pomiaru napięcia na szynach zbiorczych rozdzielni,
- sygnalizacji zwarć z ziemią w sieciach z nieskutecznie uzimionym punktem neutralnym,
- zasilania obwodów napięciowych przyrządów pomiarowych i przekaźników.

W rozdzielniach średniego napięcia przekładniki napięciowe są przyłączone do szyn zbiorczych za pośrednictwem odłącznika i bezpieczników przekładnikowych, rys. 2.16b). Pole pomiarowe przewiduje się dla każdego systemu i dla każdej sekcji szyn zbiorczych.

W rozdzielniach WN nie stosuje się bezpieczników, ponieważ są one budowane na napięcia do 35 kV. Na rys. 2.16a) przedstawiono pole pomiarowe jednosystemowej rozdzielni 400 kV. Uziemnik od strony szyn zbiorczych służy do uziemiania systemów szyn, jest konieczny przy niesekcjonowanej rozdzielni. Uziemnik od strony przekładnika służy do uziemiania pola pomiarowego.



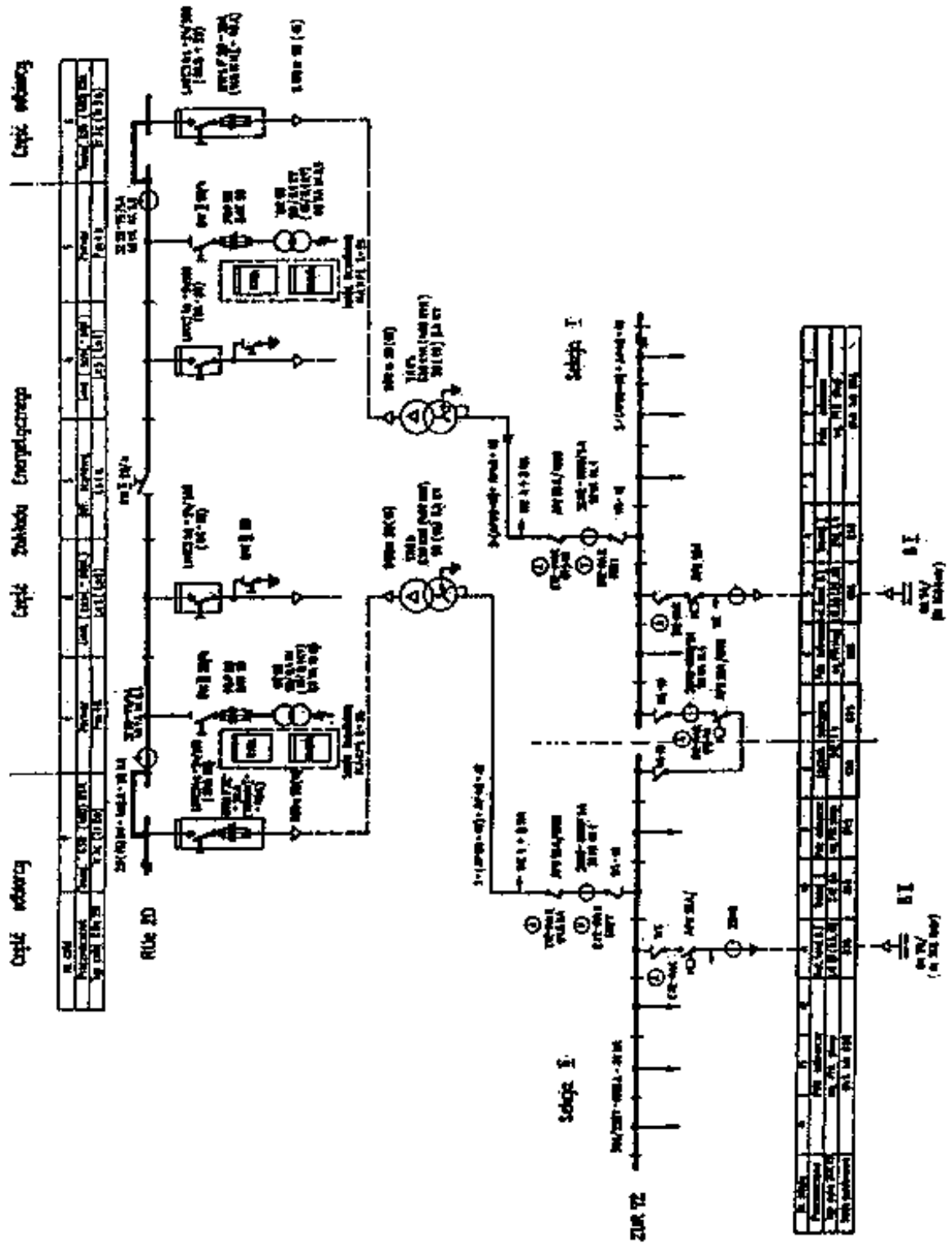
Rys. 2.16. Pola pomiaru napięcia

2.11.6. Pole odgromników

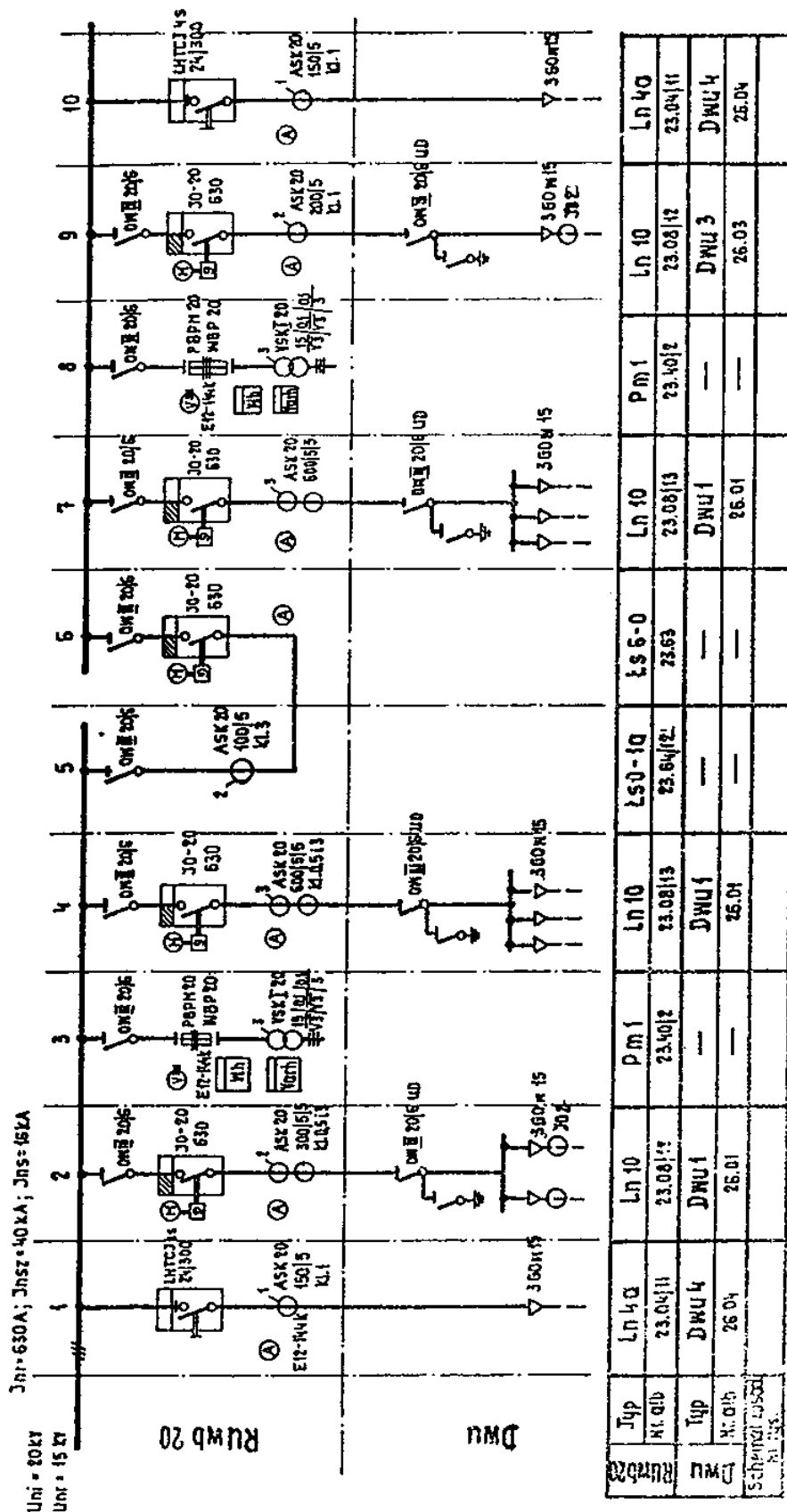
Pola takie stosowane są w rozdzielniach sieci średniego napięcia z nieskutecznie uziemionym punktem neutralnym, w których dopuszcza się pracę z doziemieniem. Odgromniki są przyłączone za pośrednictwem odłącznika. W szereg z odgromnikami włączone są liczniki rejestrujące liczbę zadziałań odgromników.

W sieciach ze skutecznie uziemionym punkcie neutralnym odgromniki są zainstalowane w polach stacji od strony linii.

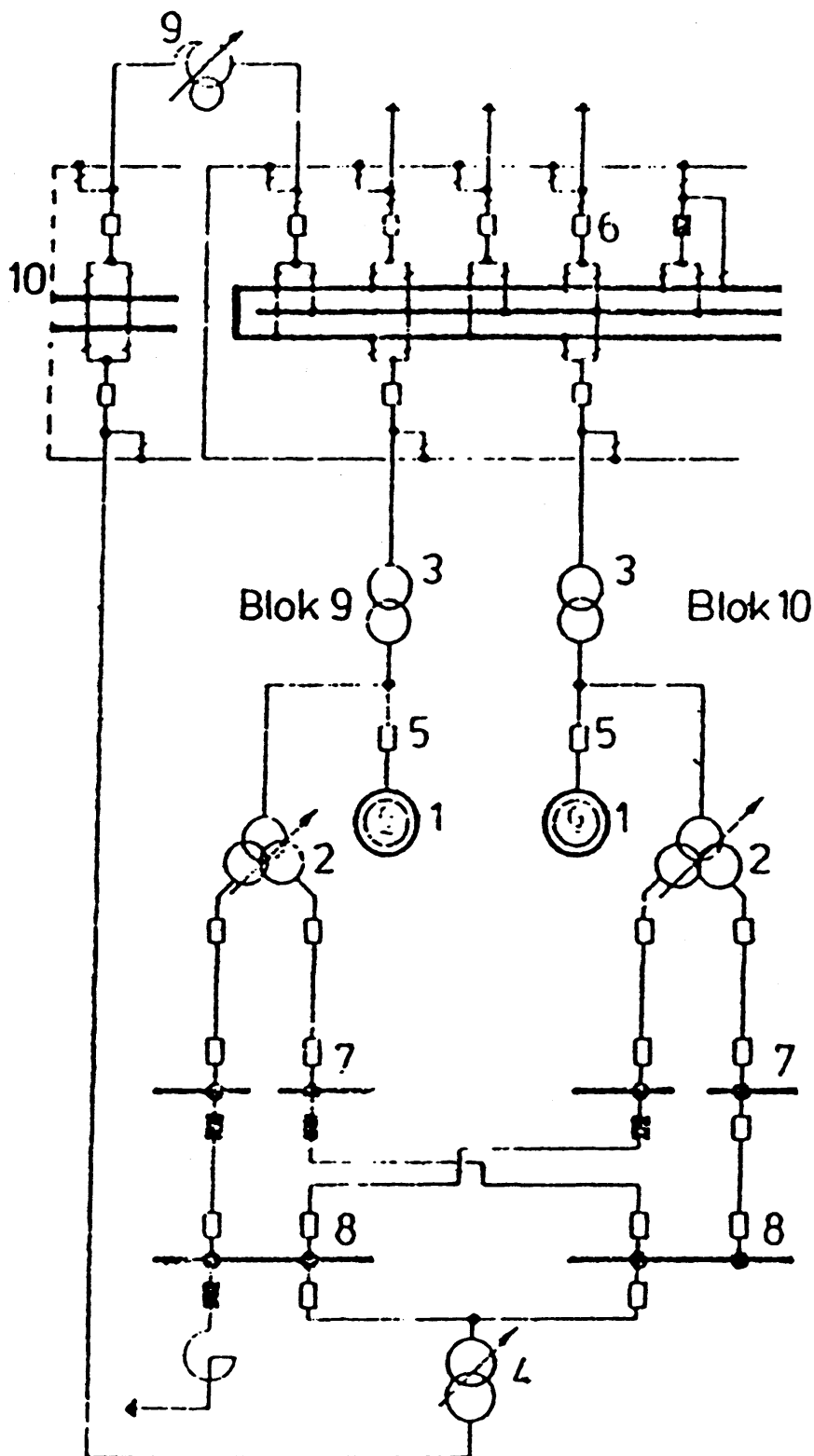
2.12. PRZYKŁADY UKŁADÓW POŁĄCZEŃ STACJI



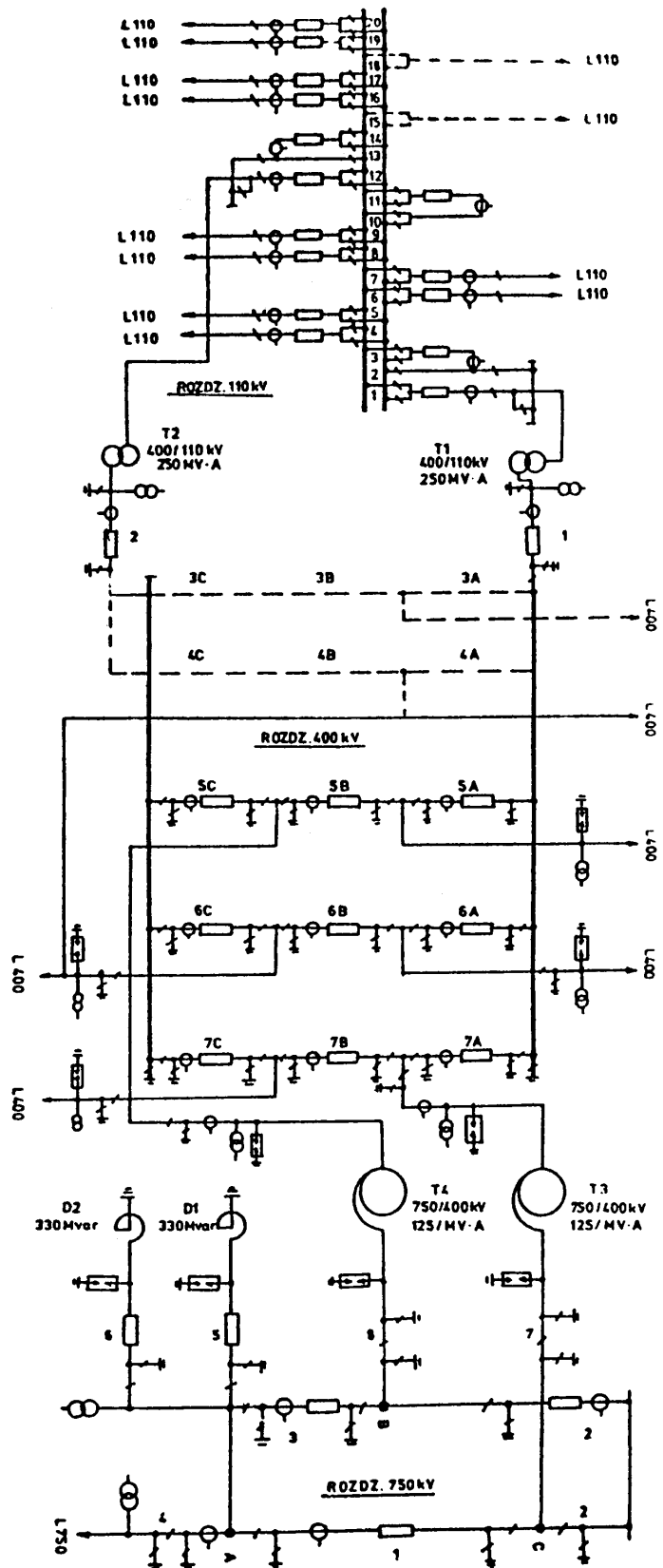
Rys. 2.17. Schemat typowej stacji przemysłowej 15 kV/0,4 kV



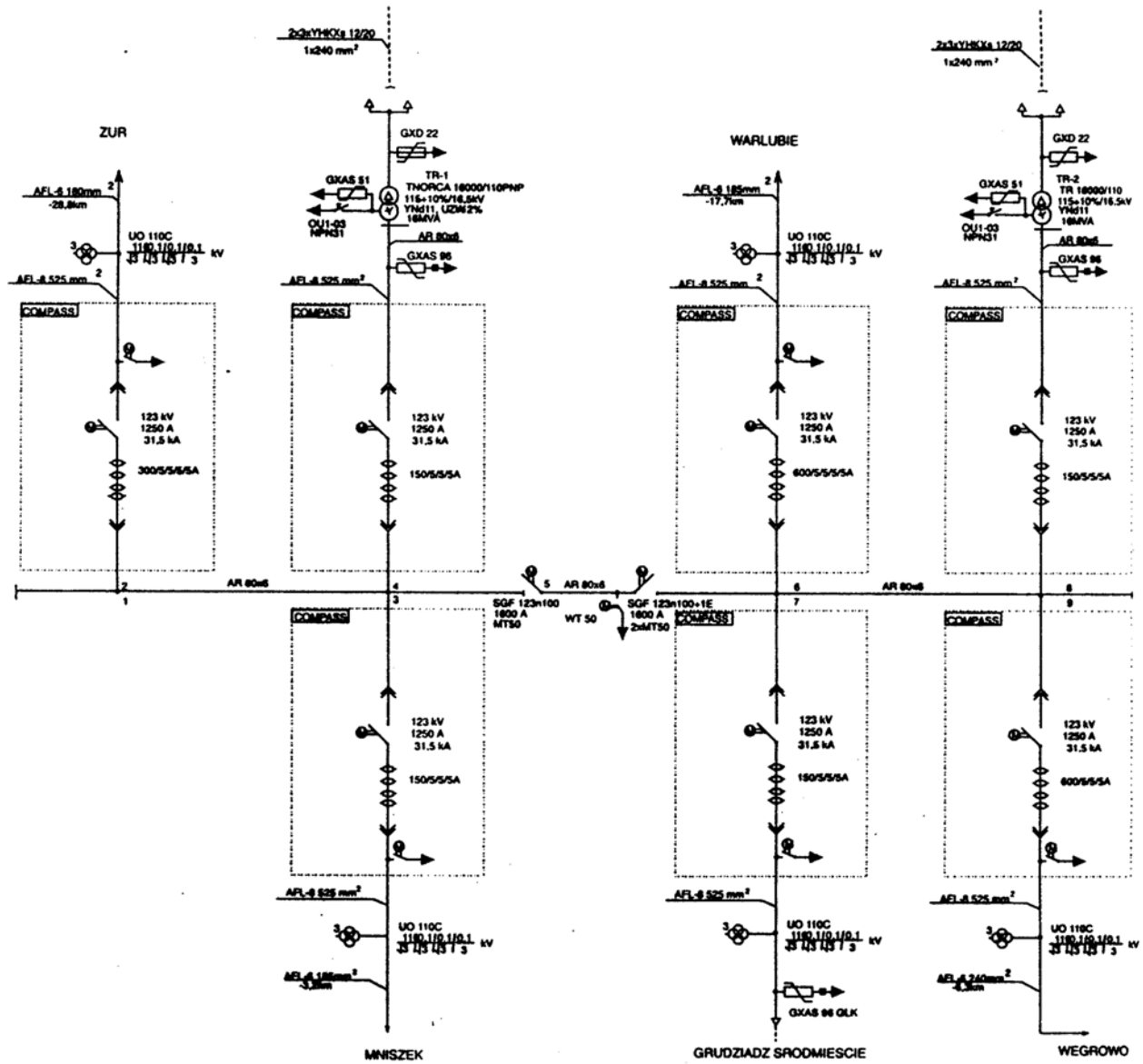
Rys. 2.18. Schemat typowej rozdzielni 20 kV



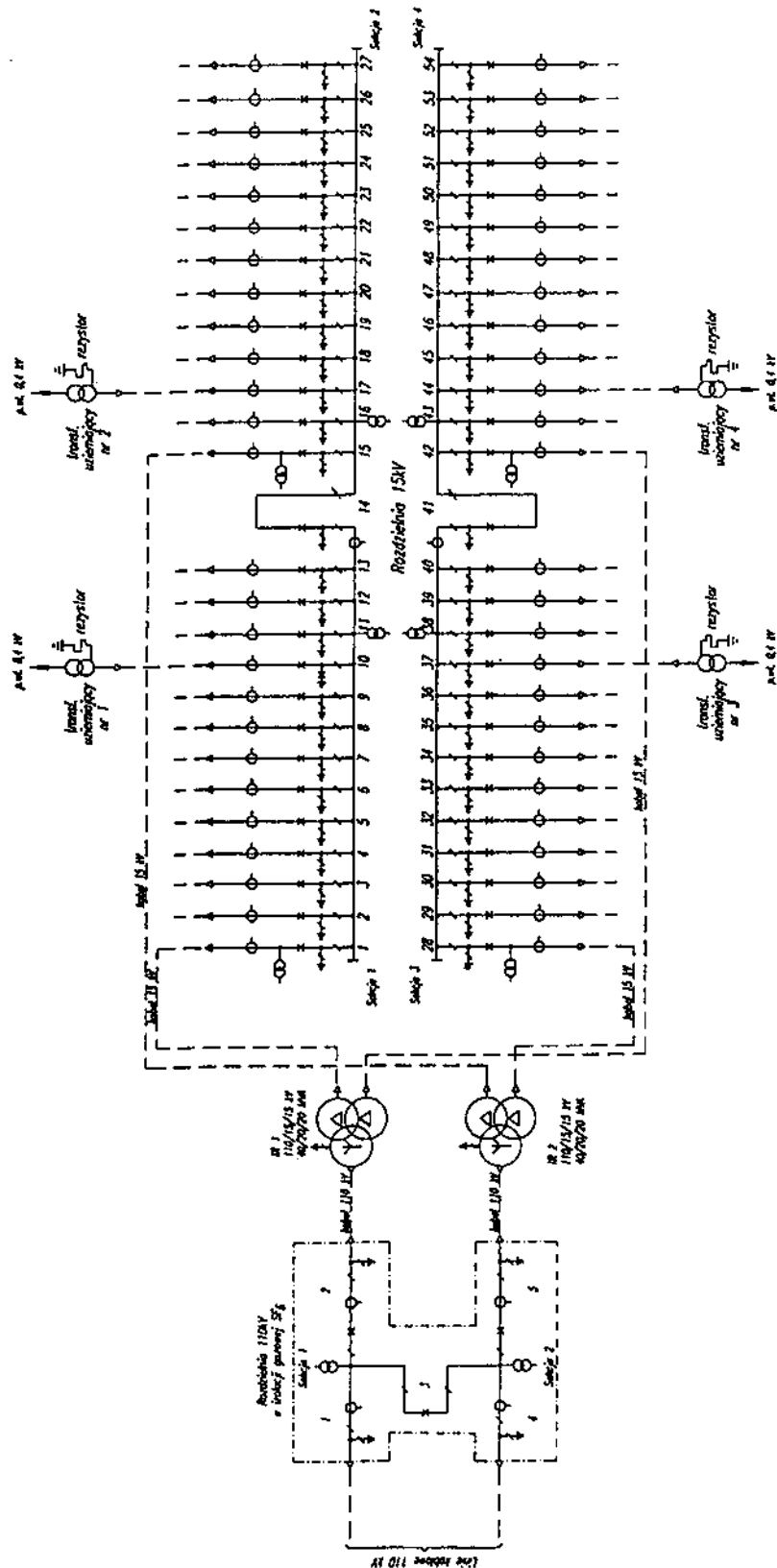
Rys. 2.19. Schemat elektryczny Elektrowni Koziernice III: 1 — generator, 2 — transformator odczepowy, 3 — transformator blokowy, 4 — transformator potrzeb ogólnych, 5 — rozłącznik generatora, 6 — rozdzielnia 400 kV, 7 — rozdzielnie blokowe 6 kV, 8 — rozdzielnia potrzeb ogólnych 6 kV, 9 — autotransformator 400/220 kV, 10 — rozdzielnia 220 kV (fragment)



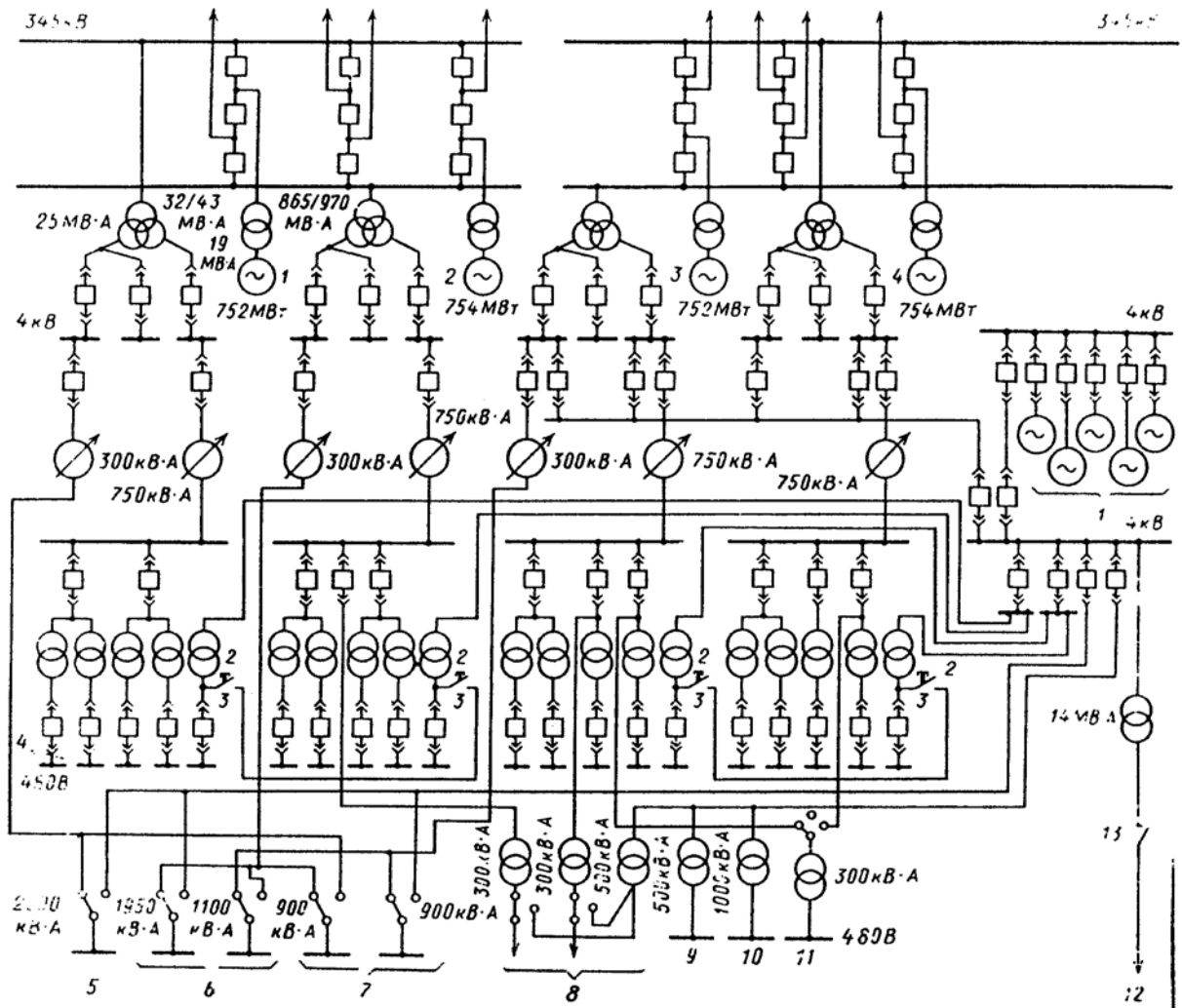
Rys. 2.20. Schemat stacji 750 kV/400 kV/110 kV



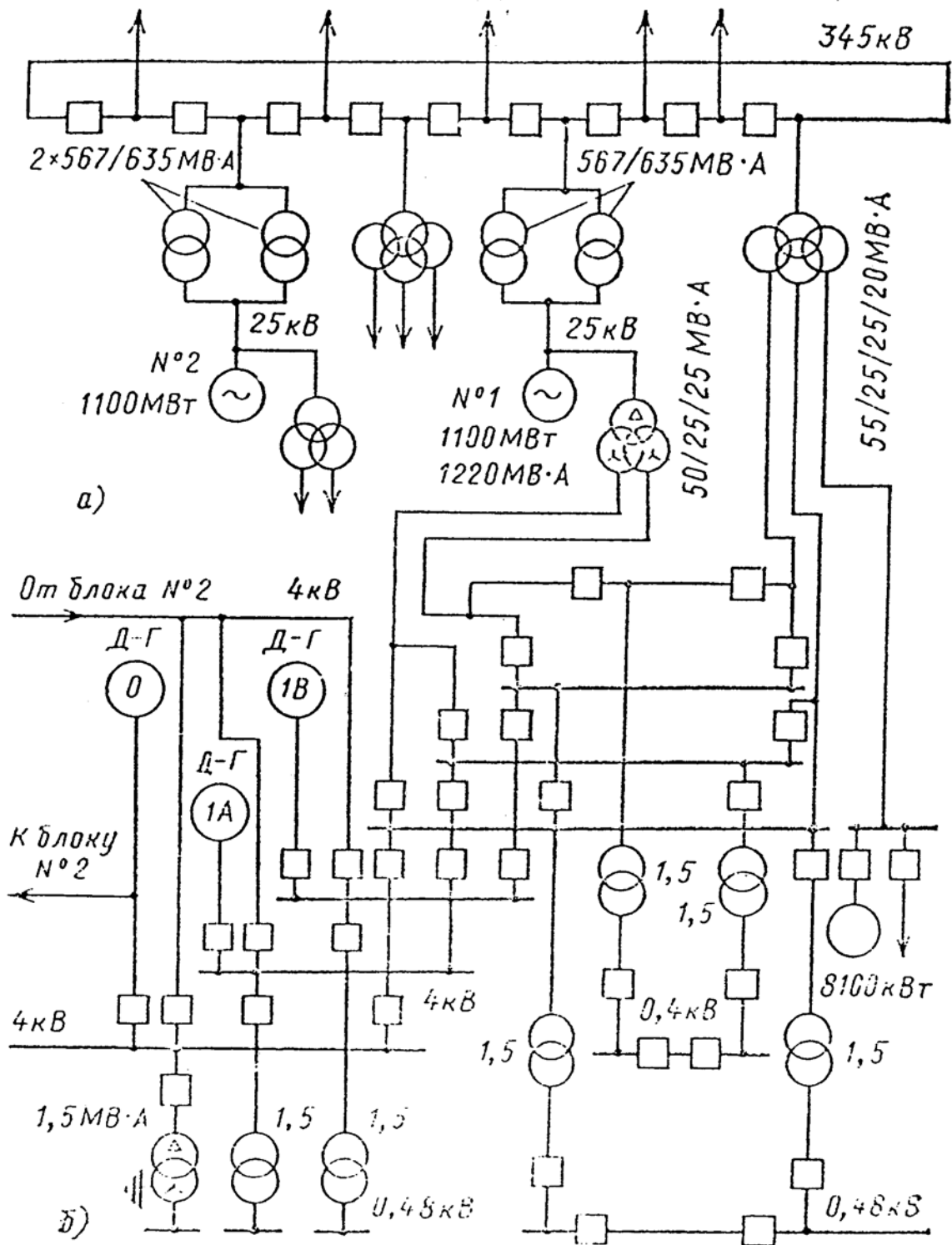
Rys. 2.21. Schemat stacji 110 kV



Rys. 2.22. Schemat stacji 110 kV/15 kV/15 kV



Rys. 2.23. Schemat stacji elektrowni



Rys. 2.24. Schemat stacji elektrowni

3. ROZWIĄZANIA KONSTRUKCYJNE STACJI

3.1. UWAGI OGÓLNE

Wymagania w zakresie projektowania i budowy jak również zapewnienia bezpiecznego i prawidłowego działania stacji elektroenergetycznych ujmują obecnie norma PN-E-05115: 2002 Instalacje elektroenergetyczne prądu przemiennego o napięciu wyższym od 1 kV [62]. Pod względem konstrukcyjnym stacje (a w zasadzie rozdzielnie) dzielą się przede wszystkim na napowietrzne i wewnątrzowe. Wymagania ogólne, wspólne dla konstrukcji napowietrznych i wewnątrzowych dotyczą:

- doboru właściwej izolacji rozdzielni i zachowania bezpiecznych odległości pomiędzy częściami znajdującymi się pod napięciem oraz tymi częściami i uziemionymi konstrukcjami,
- dostosowania rozdzielni do warunków zwarciovych,
- sprawdzenia warunków mechanicznych rozdzielni,
- sprawdzenia warunków klimatycznych i środowiskowych,
- bezpiecznej i wygodnej obsługi,
- instalacji uziemiających,
- ochrony przed działaniem łuku elektrycznego,
- instalacji pomocniczych.

Każde urządzenie techniczne znajduje się w środowisku, które na nie oddziałuje. W środowisku naturalnym zjawiska, poprzez które środowisko, oddziałuje na urządzenia wynikają przede wszystkim z warunków klimatycznych. Jeżeli obok czynników środowiska naturalnego występują czynniki wynikające z obecności i działania urządzeń technicznych, wówczas mamy do czynienia z środowiskiem technicznym. Czynniki pochodzące od środowiska i oddziałujące ujemnie na urządzenia nazywa się narażeniami środowiskowymi. Urządzenia powinny działać poprawnie mimo narażeń środowiskowych, czyli powinny być odporne na narażenia środowiskowe. Odporność urządzeń na narażenia środowiskowe jest sprawdzana dla określonego środowiska umownego. W środowisku umownym zjawiska są ściśle określone i stałe lub zmieniają się według określonego programu. Urządzenia można zastosować w środowisku rzeczywistym, jeżeli będą one sprawdzone w środowisku umownym na narażenia o natężeniu nie mniejszym niż występujące w środowisku rzeczywistym. Na ogół dopuszcza się możliwość występowania w środowisku rzeczywistym narażeń o natężeniu większym niż w środowisku umownym z pewnym niewielkim prawdopodobieństwem.

Eksploatacja urządzeń zlokalizowanych na wolnym powietrzu odbywa się w trudniejszych warunkach niż urządzeń wewnątrzowych, ze względu na niekorzystne działanie czynników atmosferycznych takich jak deszcz, wiatr, śnieg, sadz, mgły czy słońce. Roczne wahania temperatury w naszych warunkach klimatycznych wynoszą $60\div 70^{\circ}\text{C}$. Osady soli przy dużej wilgotności powietrza doprowadzają do pogorszenia izolacji urządzeń. Narażenie tego rodzaju może występować w strefie nadmorskiej. W niektórych warunkach klimatycznych, jak np. przy bardzo obfitych opadach (w strefie tropikalnej) przy znacznych wysokościach nad poziomem morza (w strefie wysokogórskiej) nie lokalizuje się urządzeń rozdzielczych na wolnym powietrzu. Bardzo niekorzystny wpływ na pracę rozdzielni napowietrznych, poza naturalnymi czynnikami atmosferycznymi, ma zabrudzenie atmosfery spowodowane zapyleniem terenu i zanieczyszczenia silnie agresywnymi związkami gazowymi np. związkami siarki.

Urządzenia elektroenergetyczne nie tylko powinny być odporne na narażenia środowiskowe, ale również nie powinny zagrażać środowisku, a przede wszystkim człowiekowi. Stacje nie powinny powodować:

- porażenia prądem elektrycznym,
- pożarów czy wybuchów,
- pól elektromagnetycznych o natężeniu ujemnie oddziaływującym na człowieka,
- nadmiernego hałasu.

Coraz większe znaczenie przy wyborze rozwiązania konstrukcyjnego stacji zaczynają odgrywać względy estetyczne. Poprawę estetyki stacji uzyskuje się głównie przez:

- zmniejszenie widoczności stacji,
- uporządkowanie wyprowadzeń linii napowietrznych i zmniejszenie ich widoczności,
- podniesienie estetyki samej stacji.

Stacje wewnątrzowe w porównaniu z napowietrznymi mają następujące zalety:

- zajmują mniejszy teren,
- lepiej chronią izolację przed czynnikami atmosferycznymi i zabrudzeniowymi,
- zapewniają bardziej wygodną obsługę, konserwację i naprawę urządzeń,
- są obiektami łatwiejszymi do wkomponowania w istniejącą zabudowę,
- mają krótsze obwody wtórne,
- prosta jest ich ochrona odgromowa.

Do wad stacji wewnątrzowych zalicza się:

- większy koszt inwestycyjny,
- zazwyczaj dłuższy czas budowy,
- większe trudności z rozbudową i modernizacją,
- większa możliwość rozprzestrzeniania się uszkodzeń,
- mała przejrzystość.

Wybór rozwiązania konstrukcyjnego rozdzielni jest zagadnieniem techniczno-ekonomicznym. W naszych warunkach atmosferycznych rozdzielnie niskiego i średniego napięcia poza rozdzielniami średniego napięcia w stacjach wiejskich (średnie na niskie napięcie) budowane są jako wewnątrzowe. Rozdzielnie o napięciu 110 kV i wyższym zwykle są budowane jako napowietrzne. Jednak w niektórych przypadkach ze względu na znaczne zanieczyszczenie atmosfery, małą powierzchnię dostępnego terenu czy ekstremalne warunki klimatyczne (strefa nadmorska czy górską) buduje się również rozdzielnie o napięciu 110 kV i wyższym jako wewnątrzowe. Istotnym czynnikiem wpływającym na wybór rozwiązania konstrukcyjnego jest wielkość terenu, na którym ma być zlokalizowana rozdzielnie. W centrach dużych miast, jak również w rozbudowywanych zakładach przemysłowych teren, który może być przeznaczony pod budowę stacji może być niewielki, co zmusza do wyboru rozwiązań wewnątrzowych. Ponadto rozwój sieci skłonił do wprowadzenia do centrów miast i dużych zakładów przemysłowych stacji o napięciu 110 kV i wyższym. Tradycyjne rozdzielnie wewnątrzowe o tym napięciu tzw. halowe (są to w zasadzie tradycyjne rozdzielnie napowietrzne umieszczone w hali) mają często zbyt duże rozmiary. Zasadnicze ograniczenie kubatury budynków stacyjnych można obecnie osiągnąć przez wprowadzenie hermetycznych rozdzielni osłoniętych, w których wszystkie urządzenia wysokiego napięcia znajdują się w atmosferze sześćfluorku siarki SF₆ o ciśnieniu 0,2÷0,6 MPa. Umożliwia to nawet kilkunastokrotne zmniejszenie odstępów izolacyjnych między biegunami różnych faz i względem uziemionych elementów konstrukcyjnych. Kubatura tych rozdzielni wynosi 7÷10 % kubatury rozdzielni tradycyjnych.

3.2. PODSTAWOWY ODSTĘP IZOLACYJNY - ODSTĘP MINIMALNY

Przebiecia, czyli każdy wzrost napięcia powyżej najwyższego napięcia roboczego dzieli się na przebiecia wewnętrzne-związane z pracą systemu elektroenergetycznego oraz przebiecia zewnętrzne (piorunowe) związane z wyładowaniami atmosferycznymi. Przebiecia wewnętrzne dzielą się na:

- przepięcia dorywcze (wolnozmiennie),
- przepięcia łączeniowe (szybkozmiennie).

Przepięcia dorywcze powstają na skutek zwarcia z ziemią, nagłego zdjęcia obciążenia (tzw. dynamiczne) oraz rezonansu między pojemnością linii a indukcyjnością z nasycającym się rdzeniem (tzw. przepięcia ferorezonansowe). Przepięcia łączeniowe związane są z czynnościami łączeniowymi lub przerywanymi zvarciami z ziemią. Urządzenia stacji muszą wytrzymywać przepięcia, na które mogą być narażone podczas swojej pracy. Ze względów ekonomicznych stosuje się specjalne urządzenia ograniczające przepięcia (ograniczniki), dzięki którym wytrzymałość przepięciowa urządzeń może być ograniczona do wartości nieco większej od poziomu ochrony zapewnionego przez te urządzenia. Wytrzymałość przepięciową urządzeń, czyli ich poziom znamionowy izolacji określa się za pomocą wyidealizowanych przebiegów probierczych. Przepięcia odwzorowuje się:

- dorywcze - napięciem probierczym przemiennym o częstotliwości znamionowej.
- łączeniowe związane z czynnościami łączeniowymi lub przerywanym zvarciem z ziemią - przez udary probiercze łączeniowe 250/2500 μ s.
- atmosferyczne - probierczymi udarami piorunowymi 1,2/50 μ s.

Zjawiska związane z przepięciami zależą od wielu czynników związanych z systemem elektroenergetycznym jak i środowiskiem. W związku z tym w EN 60071-1:1995. Koordynacja izolacji. Definicje, zasady i reguły [83], urządzenia elektroenergetyczne podzielono na 2 zakresy napięciowe:

- Zakres I - urządzenia do pracy w sieci o napięciu nominalnym nie większym od 220 kV,
- Zakres II - urządzenia do pracy w sieci o napięciu nominalnym wyższym od 220 kV.

Dla każdego zakresu określono znamionowe napięcia probiercze izolacji (tab.3.1 i tabl. 3.2). Poziom znamionowy izolacji urządzeń rozdzielni określa zespół znamionowych napięć probierczych, i tak:

a) dla urządzeń zakresu I

- ◆ wartość szczytowa napięcia probierczego przemiennego o częstotliwości znamionowej podzielonej przez $\sqrt{2}$,
- ◆ wartość szczytowa napięcia probierczego udarowego piorunowego (1,2/50 μ s.) oznaczonego skrótem LIWV jako akronim terminu angielskiego "Lightning Impulse Withstand Voltage",

b) dla urządzeń zakresu II

- ◆ wartość szczytowa napięcia probierczego udarowego łączeniowego (250/2500 μ s.) oznaczonego skrótem SIWV jako akronim terminu angielskiego "Switching Impulse Withstand Voltage",
- ◆ wartość szczytowa napięcia probierczego udarowego piorunowego (1,2/50 μ s.).

Norma PN-E-05115 wprowadza trzy zakresy napięciowe:

- A (1 kV < U_m < 52 kV),
- B (52 kV < U_m < 300 kV),
- C (U_m > 300 kV).

W rozdzielniach, w których odpowiednio ustawione i połączone przewodami urządzenia nie są poddawane próbom napięciowym musi być zachowany podstawowy odstęp izolacyjny w powietrzu A, obecnie nazywany odstępem minimalnym N. Jest to minimalna odległość w świetle między gołymi częściami będącymi pod napięciem różnych faz tego samego obwodu elektrycznego oraz między tymi częściami a uziemionymi konstrukcjami. Odstęp ten, jak również inne odstępy podają przepisy [62], [83], [84], [122]. Podane odstępy izolacyjne powinny zapewniać wymaganą wytrzymałość elektryczną uwzględniając rodzaje przepięć oraz występujące w rozdzielniach kształty elektrod, czyli kształty urządzeń i kształty elementów konstrukcyjnych stacji. I tak np. dla rozdzielni o napięciu do 220 kV o odstępem powietrznym decydują udary piorunowe i odstępy

powietrzne międzyfazowe są równe odstępom między fazą a uziemioną konstrukcją, natomiast dla napięć z zakresu II przepięcia łączeniowe decydują o doborze izolacji i zachodzi konieczność określenia również odstepu izolacyjnego między częściami różnych faz tego samego obwodu. Zakres napięciowy II (tabl. 3.2) uwzględniają jedynie nowe normy [62], [83], [84], ponieważ PBUE [122] ustalano w czasach, gdy wyższe od 220 kV napięcia nie występowały. Podstawowy odstęp izolacyjny A i odstęp minimalny N podany jest w tabl. 3.1 i tabl. 3.2. Odstepy izolacyjne wg [122] podano w kol. 9 i 10 w nawiasach. Odstepy te są odstepami izolacyjnymi gwarantującymi wytrzymywanie napięć udarowych określających znormalizowany poziom izolacji. Począwszy od napięcia nominalnego sieci 20 kV odstęp minimalny jest określany wspólnie dla instalacji wewnątrzowych i napowietrznych. W PBUE najmniejsze odstepy izolacyjne dla określonego napięcia były ustalane bezwariantowo, natomiast w nowej normie europejskiej [62] opartej na normach [83], [84] dla określonego napięcia nominalnego sieci można wybrać jeden z dwóch, a nawet kilku poziomów izolacji, a zatem jeden z kilku wymaganych minimalnych odstepów izolacyjnych. Wybór powinien być dokonany przede wszystkim celem zapewnienia niezawodności eksploatacyjnej z uwzględnieniem sposobu uziemienia punktu neutralnego sieci oraz charakterystyk i lokalizacji przewidywanych do zastosowania urządzeń ograniczających przepięcia. W warunkach szczególnych minimalne odstepy powinny być odpowiednio skorygowane a mianowicie:

- minimalne odstepy między częściami instalacji, które mogą być narażone na opozycję faz powinny być o 20% większe,
- odstepy między częściami rozdzielni, które przynależą do różnych poziomów izolacji powinny być nie mniejsze niż 125% odstepów ustalonych dla wyższego poziomu izolacji,
- jeżeli przewody wychylają się pod wpływem prądów zwarciovych to odstęp minimalny powinien wynosić, co najmniej 50% normalnego odstepu podanego w tabl. 3.1,
- jeżeli przewody wychylają się pod wpływem wiatru to jako odstęp minimalny należy zachować, co najmniej 75% odstepu normalnego,
- w przypadku zerwania jednego rzędu w wielorzędownym łańcuchu izolatorowym jako odstęp minimalny należy zachować, co najmniej 75% odstepu normalnego.

W tabl. 3.1 pogrubionymi literami podano preferowane dla polskich warunków odstepy minimalne.

3.3. DOSTOSOWANIE ROZDZIELNI DO WARUNKÓW ZWARCIOWYCH

Izolatory, szyny zbiorcze, aparaty i elementy konstrukcyjne rozdzielni muszą być dobrane na występujące w rozdzielni prądy zwarciove. Kryteria doboru poszczególnych urządzeń rozdzielni do warunków zwarciovych zostanie przedstawiony w rozdziale 4. Ogólnie można stwierdzić, że większe prądy zwarciove powodują zwiększenie gabarytów urządzeń. Ponadto konieczność ograniczania prądów zwarciovych skłania do zastosowania rozwiązań konstrukcyjnych takich jak:

- sekcjonowania szyn zbiorczych,
- instalowania dławików zwarciovych.

Może również zaistnieć, ze względu na wzrost prądów zwarciovych w sieci, konieczność przebudowy istniejącej rozdzielni i wymiany zainstalowanej w niej aparatury w czasie eksploatacji. Konstrukcja rozdzielni powinna uwzględniać możliwość przeprowadzenia takiej modernizacji.

Tabl. 3.1. Wartości napięć najwyższych i probierczych oraz minimalny odstęp doziemny i międzyfazowy N dla zakresu A i B wg [62]

Zakres		Napięcie nominalne sieci U_n	Najwyższe napięcie pracy urządzeń U_m	Znormalizowane wytrzymałwane napięcie		Minimalny odstęp doziemny i międzyfazowy N wg [62] (podstawowy izolacyjny A wg PBUE [122])		
Wg [83]	Wg [62]			przemienne	udarowe piorunowe	dla rozdzielnic wewnętrznych	dla rozdzielnic napowietrznych	
-	-	[kV]	[kV]	[kV]	[kV]	[mm]	[mm]	
1	2	3	4	5	6	9	10	
I	A	3	3,6	10	20 40	60 60 (65)	120 120	
		6	7,2	20	40 60	60 90 (90)	120 120	
		10	12	28	60 75	90 120 (115)	150 150 (130)	
		15 ¹⁾	17,5	38	75 95	120 160 (160)	160 160 (160)	
		20	24	50	95 125	160 220 (190)	160 220 (220)	
		30	36	70	145 170	270 320 (230)	270 320 (320)	
			36 ²⁾	41,5	80	170 200	320 360	320 360
		B	45 ¹⁾	52	95	250	480	480
			66 ³⁾	72,5	140	325	630	630
			70 ²⁾	82,5	150	380	750	750
			110 ⁴⁾	123	185 ⁵⁾ 230	450⁷⁾ 550	900⁷⁾ (800) 1100	900 ⁷⁾ (920) 1100
			132	145	185 ⁵⁾ 230 275	450 550 650	900 1100 1300	900 1100 1300
			150 ¹⁾	170	230 ⁵⁾ 275 325	550 650 750	1100 1300 1500	1100 1300 1500
			220	245 ⁶⁾	325 ⁵⁾ 360 395 400	750 850 950 1050	1500 1700 1900 2100	1500 1700 1900 (1850) 2100

¹⁾ Wartości tego napięcia nominalnego sieci należy traktować jako napięcie niepreferowane. Nie zaleca się stosowania tych wartości napięcia przy budowie nowych sieci.

²⁾ Ten poziom napięcia nie występuje w [83].

³⁾ Dla $U_n=60$ kV zalecane są wartości podane dla $U_n=66$ kV.

⁴⁾ Dla $U_n=90$ kV ($U_m=100$ kV) zalecane są niższe wartości napięć wytrzymałwanych i odstępów.

⁵⁾ Wartości napięć wytrzymałwanych i odstępów w tym wierszu zaleca się uważać za stosowane tylko w rzadko występujących przypadkach.

⁶⁾ W [83] jest podany piąty jeszcze niższy poziom izolacji.

⁷⁾ Na podstawie polskich doświadczeń eksploatacyjnych oraz badań, można stosować w krajowych instalacjach 110 kV poziom izolacji 450 kV i odstęp 900 mm, bez ograniczeń podanych w odsyłaczu 5.

Tabl. 3.2. Wartości napięć najwyższych i probierczych oraz minimalny odstęp doziemny i międzyfazowy N dla zakresu C wg [62] i [83]

Zakres		Napięcie nominalne sieci U_n	Najwyższe napięcie pracy urządzeń U_m	Znormalizowane wytrzymałwane napięcie udarowe łączeniowe 250/2500 μs		Znormalizowane wytrzymałwane napięcie udarowe piorunowe	Minimalny odstęp doziemny		Minimalny odstęp międzyfazowy	
Wg [83]	Wg [62]			doziemne	międzyfazowe		przewód-konstrukcja	pręt-konstrukcja	przewód	pręt
-	-	[kV]	[kV]	[kV]	[kV]	[kV]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
I	C	275	300	750	1125	850 950	1600	1900	2300	2600
				850	1275	950 1050	1800	2400	2600	3100
		380	420	950	1425	1175 1300	2200	2900	3100	3600
				1050	1575	1300 1450	2600	3400	3600	4200
		480	525	1050	1680	1300 1425	2600	3400	3900	4600
				1175	1763	1425 1550	3100	4100	4200	5000
		700	765	1425	2423	1800 1950	4200	5600	7200	9000
				1550	2480	1950 2100	4900	6400	7600	9400

3.4. KONSTRUKCJE ROZDZIELNI ZE WZGLĘDU NA WYGODNĄ I BEZPIECZNĄ EKSPLOATACJĘ

3.4.1. Uwagi ogólne

Instalacje elektroenergetyczne należy tak konstruować, aby w każdym miejscu instalacji zapewnić personelowi obsługującemu możliwość bezpiecznego przebywania i wykonywania prac w ramach jego obowiązku i uprawnień. Na wygodną i bezpieczną eksploatację składają się:

- ochrona przed dotykiem bezpośrednim,
- ochrona przed dotykiem pośrednim,
- ochrona przed zagrożeniem łukiem elektrycznym,
- ochrona przed bezpośrednim uderzeniem pioruna,
- ochrona przeciwpożarowa,
- ochrona przed wyciekami cieczy elektroizolacyjnych i SF₆.

Symboli i definicji odległości i odstępów, jakie należy stosować w instalacjach wewnętrznych i napowietrznych mających zapewnić bezpieczną ich eksploatację zestawiono w tabl. 3.3.

Tabl. 3.3. Symbole i definicje odległości i odstępów stosowanych w [62]

Lp.	Symbol	Definicja
1	N	Minimalne odstęp podstawowe, służące do określania odstępów i odległości wymaganych w poszczególnych przypadkach; jest to odstęp doziemny, określany dla niekorzystnego układu elektrod, dla przepięć piorunowych dla napięć w zakresach A i B, a dla przepięć łączeniowych w zakresie C
2	B	Odstęp przegrody
3	O	Odstęp przeszkody
4	C, E	Odstęp ogrodzenia zewnętrznego instalacji napowietrznej
5	T	Odległość zbliżenia dla pojazdów w czasie transportu na terenie instalacji
6	H	Wysokość minimalna nad terenem dostępnym (na terenie zamkniętego obszaru ruchu elektrycznego)
7	H'	Wysokość minimalna ponad powierzchnią dostępną przy ogrodzeniu zewnętrznym
8		Najmniejsza dopuszczalna odległość pionowa przewodów elektroenergetycznych linii napowietrznych od poziomu ziemi wg PN-E-05100-1
9	D _L	Odstęp w powietrzu, wyznaczający zewnętrzną granicę strefy prac pod napięciem
10	D _V	Odstęp w powietrzu, wyznaczający zewnętrzną granicę strefy prac w pobliżu napięcia

Aby uniemożliwić dostęp nieupoważnionym osobom do zamkniętego obszaru ruchu elektrycznego, na którym znajduje się stacja, obszar ten powinien być ogrodzony i posiadać odpowiednie drzwi wejściowe. Ogrodzenie zewnętrzne powinno mieć wysokość, co najmniej 1800 mm. Odstęp od części czynnych do ogrodzenia powinien wynosić:

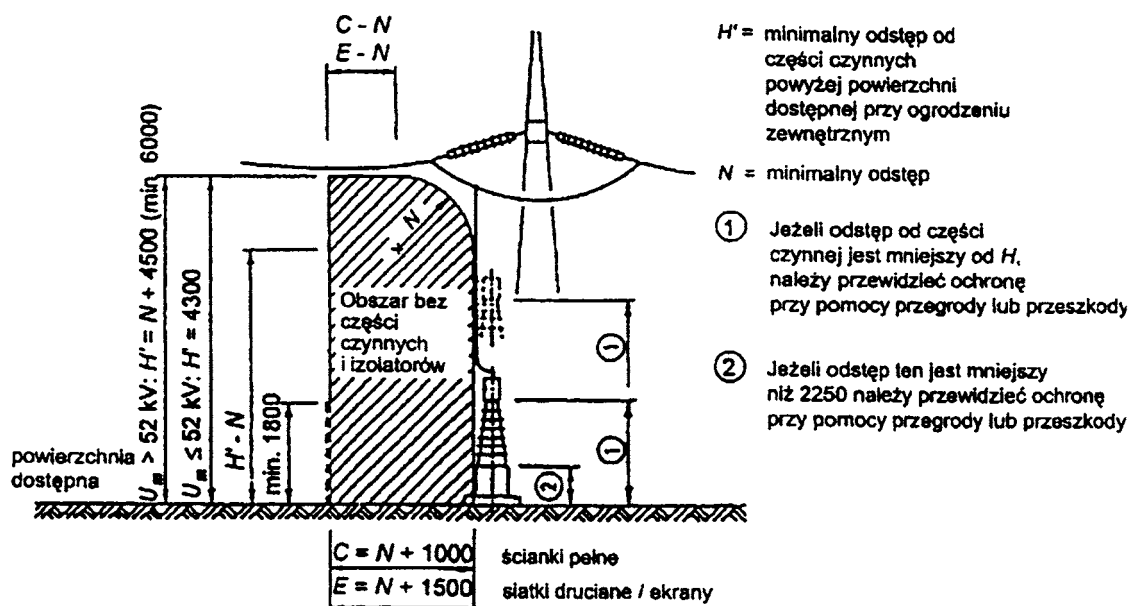
- dla ogrodzenia pełnego

$$C=N+1000 \quad [\text{mm}] \quad (3.1)$$

- dla ogrodzenia ażurowego z maksymalnym wymiarem oczka 50 mm

$$E=N+1500 \quad [\text{mm}] \quad (3.2)$$

Usytuowanie ogrodzenia zewnętrznego w stosunku do urządzeń na terenie stacji oraz minimalne wysokości linii wychodzących ze stacji pokazano na rys. 3.1. Drzwi wejściowe i furtki powinny być wyposażone w zamki bezpieczeństwa.



Rys. 3.1. Odstępy minimalne i minimalna wysokość przy ogrodzeniu zewnętrznym (odstęp podany w [mm])

3.4.2. Ochrona przed dotykiem bezpośrednim

3.4.2.1. Uwagi ogólne

Strefa niebezpieczna jest to obszar wyznaczony przez odstęp minimalny wokół części czynnych bez pełnej ochrony przed dotykiem bezpośrednim. Naruszenie strefy niebezpiecznej uważa się za równoznaczne z dotykiem części znajdujących się pod napięciem. Instalacje elektroenergetyczne należy tak skonstruować, aby uniemożliwić niezamierzone dotknięcie części czynnych lub niezamierzone dostanie się do niebezpiecznej strefy w pobliżu napięcia. Ochroną należy objąć części czynne, części mające tylko izolację roboczą oraz części, które mogą przenosić niebezpieczny potencjał. Przykładami takich części są:

- kable i ich akcesoria bez uziemionych metalowych powłok,
- izolujące korpusy izolatorów, np. aparaty elektryczne z izolacją z lanych żywic, jeżeli może na nich wystąpić niebezpieczne napięcie dotyku,
- uzwojenia maszyn elektrycznych, transformatorów, dławików.

Uznawane są następujące typy ochrony przed dotykiem bezpośrednim:

- ochrona za pomocą obudowy,
- ochrona za pomocą przegrody,
- ochrona za pomocą przeszkody,
- ochrona za pomocą umieszczenia poza zasięgiem.

Obudowa jest elementem zapewniającym ochronę urządzenia przed określonymi wpływami zewnętrznymi oraz ochronę przed dotykiem bezpośrednim z dowolnej strony.

Przegroda jest elementem zapewniającym ochronę przed dotykiem bezpośrednim ze wszystkich ogólnie dostępnych stron.

Przeszkoda jest elementem chroniącym przed niezamierzonym dotykiem bezpośrednim, lecz niechroniącym przed dotykiem bezpośrednim spowodowanym działaniem umyślnym.

Ochrona za pomocą umieszczenia poza zasięgiem jest uzyskiwana przez umieszczenie części czynnych na zewnątrz strefy rozciągającej się od powierzchni, na której osoby zwykle mogą stać lub poruszać się do granicy, do której można dosięgnąć rękami w dowolnym kierunku.

Obudowy posiadają znormalizowane stopnie ochrony zapewnianej przez nie tzw. kod IP zgodnie z normą PN-EN 60529:2003. Stopnie ochrony zapewnianej przez obudowy (Kod IP) [100]. Stopnie ochrony zapewnianej przez obudowy dotyczy urządzeń elektrycznych o napięciu nieprzekraczającym 72,5 kV. Stopnie ochrony zapewnianej przez obudowy dotyczą:

- ochrony ludzi przed dostępem do części niebezpiecznych wewnątrz obudowy,
- ochrony urządzeń wewnątrz obudowy przed wnikaniem obcych ciał stałych,
- ochrony urządzeń wewnątrz obudowy przed szkodliwymi skutkami związanymi z wnikaniem wody.

Stopień ochrony zapewnianej przez obudowy jest oznaczony kodem IP (International Protection) w następujący sposób:

- Litery kodu IP,
- Pierwsza cyfra charakterystyczna (cyfry od 0 do 6 lub litera X),
- Druga cyfra charakterystyczna (cyfry od 0 do 8 lub litera X),
- Litera dodatkowa, nieobowiązkowa (litery A, B, C, D),
- Litera uzupełniająca, nieobowiązkowa (litery H, M, S, W).

Przykłady kodu: IP 45, IPX5, IP4X, IP23C, IP23CH. Elementy kodu IP i ich znaczenie podano w tabl. 3.4.

Tabl. 3.4. Elementy kodu IP i ich znaczenie

Element	Cyfry lub litery	Znaczenie dla ochrony urządzenia	Znaczenie dla ochrony osób
Pierwsza cyfra charakterystyczna		Przed wnikaniem ciał stałych	Przed dostępem do części niebezpiecznych
	0	bez ochrony	o średnicy ≥ 50 mm
	1	o średnicy ≥ 50 mm	wierzchem dłoni
	2	o średnicy $\geq 12,5$ mm	palcem
	3	o średnicy $\geq 2,5$ mm	narzędziem
	4	o średnicy $\geq 1,0$ mm	drutem
	5	ochrona przed pyłem	drutem
Druga cyfra charakterystyczna	6	pyłoszczelne	drutem
		Przed wnikaniem wody i szkodliwymi jej skutkami	
	0	bez ochrony	-
	1	kapiącej	-
	2	kapiącej przy wychyleniu do 15°	-
	3	natryskiwanej	-
	4	rozbryzgiwanej	-
	5	lanej strugą	-
6	lanej silną strugą	-	
Litera dodatkowa, nieobowiązkowa	7	przy zanurzeniu krótkotrwałym	-
	8	przy zanurzeniu ciągłym	-
			Przed dostępem do części niebezpiecznych
	A	-	wierzchem dłoni
Litera uzupełniająca,	B	-	palcem
	C	-	narzędziem
	D	-	drutem
	H	Informacje uzupełniające dotyczące: aparatów wysokiego napięcia	-

nieobowiązkowa	M	ruchu w czasie prób wodą	-
	S	postoiu w czasie prób wodą	-
	W	warunków klimatycznych	-

3.4.2.2. Ochrona poza zamkniętymi obszarami ruchu elektrycznego

Poza zamkniętymi obszarami ruchu elektrycznego dopuszczalna jest jedynie ochrona za pomocą obudowy lub umieszczenia poza zasięgiem. W przypadku zastosowania ochrony za pomocą obudowy należy spełnić, co najmniej wymagania IP23D to znaczy chroniącej przed:

- dotykiem bezpośrednim palcem do części niebezpiecznych,
- natryskiwaniem wodą,
- dostępem drutem o średnicy 1 mm i długości 100 mm.

Ochrona za pomocą umieszczenia poza zasięgiem polega na umieszczeniu części czynnych za ogrodzeniem zewnętrznym lub na wysokości:

$$H'=4300 \text{ mm} \quad \text{dla } U_m \leq 52 \text{ kV} \quad (3.3)$$

$$H'=4500+N \text{ mm} \quad \text{dla } U_m > 52 \text{ kV} \quad (3.4)$$

Dokładnie przedstawia to rys. 3.1. Odległość H' dotyczy również stacji słupowych i wieżowych.

3.4.2.3. Ochrona wewnątrz zamkniętych obszarów ruchu elektrycznego

Wewnątrz zamkniętego obszaru ruchu elektrycznego dopuszczalna jest ochrona za pomocą obudowy, przegrody, przeszkody lub umieszczenia poza zasięgiem. Jeżeli zastosowana jest ochrona za pomocą obudowy to stopień ochrony powinien spełniać wymagania IP2X to znaczy ochrony przed dotykiem palcem.

W przypadku stosowania ochrony za pomocą **przegrody** to powinny być zachowane minimalne odstępki zbliżenia od części czynnych do wewnętrznej powierzchni przegrody (patrz rys. 3.2):

- Dla ścianek stałych bez otworów o wysokości minimalnej 1800 mm, minimalny odstęp przegrody wynosi:

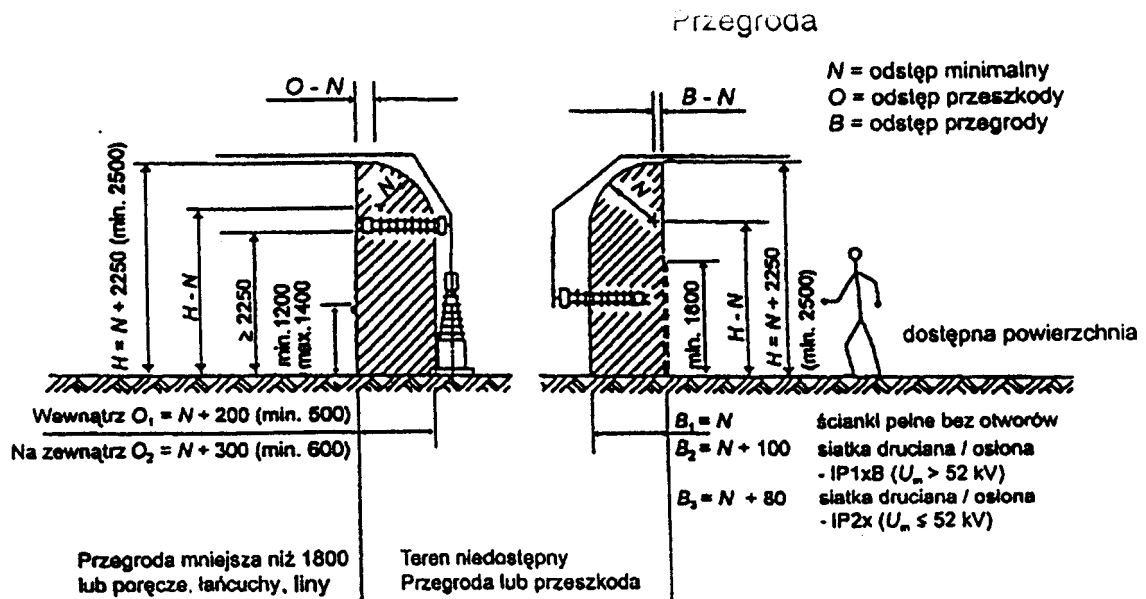
$$B_1=N \quad (3.5)$$

- Dla napięć znamionowych $U_m > 52 \text{ kV}$ dla siatek drucianych, osłon lub ścianek stałych z otworami o wysokości minimalnej 1800 mm i stopniu ochrony IP1XB odstęp przegrody wynosi:

$$B_2=N+100 \text{ mm} \quad (3.6)$$

- Dla napięć znamionowych $U_m \leq 52 \text{ kV}$ dla siatek drucianych, osłon lub ścianek stałych z otworami o stopniu ochrony IP2X i wysokości minimalnej 1800 mm minimalny odstęp przegrody wynosi

$$B_3= N+80 \text{ mm} \quad (3.7)$$



Rys. 3.2. Ochrona przed dotykiem bezpośrednim za pomocą przegród lub przeszkód wewnątrz zamkniętych obszarów ruchu elektrycznego (odstępów podano w [mm])

Stopień ochrony IP1XB zapewnia ochronę przed dostępem wierzchem dłoni i palcem.

W przypadku zastosowania **przeszkody** powinny być zachowane minimalne odległości od części czynnych do wewnętrznej części przeszkody (patrz rys. 3.2):

- dla ścianek stałych lub osłon o wysokości mniejszej niż 1800 mm i dla poręczy, łańcuchów lub lin powinny wynosić:

$$O_2 = N + 300 \text{ mm} \quad (3.8)$$

lecz nie mniej niż 600 mm,

- dla łańcuchów lub lin powinny być zwiększone przez uwzględnienie zwisu.

Przeszkody powinny być zamocowane na wysokości, co najmniej 1200 mm i nie większej niż 1400 mm.

Przy zastosowaniu środka ochrony polegającego **na umieszczeniu poza zasięgiem** minimalna wysokość części czynnych nad powierzchnią lub podestem, gdzie jest dozwolony ruch pieszy powinna być następująca:

- dla części czynnych powinna być zachowana jako minimalna wysokość:

$$H = N + 2250 \text{ mm} \quad (3.9)$$

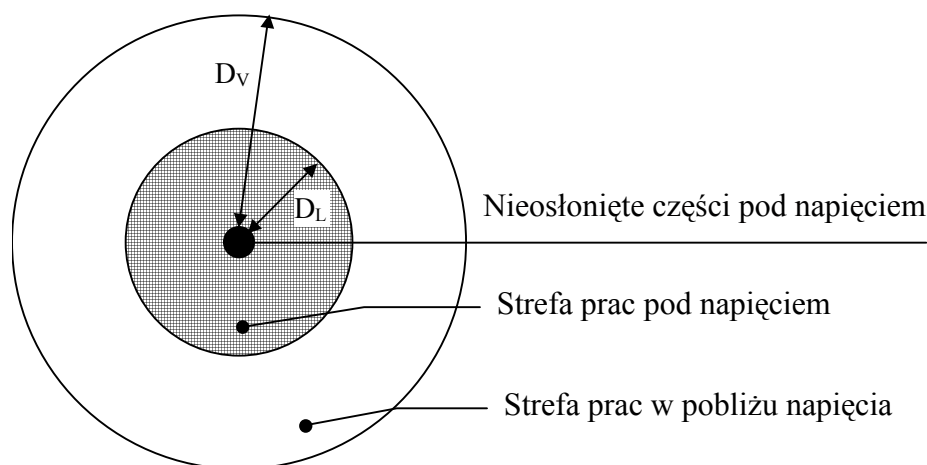
lecz nie mniej niż 2250 mm,

- dla najniższej części każdego izolatora nie mniej niż 2250 mm ponad dostępną powierzchnią.

Należy uwzględnić zmniejszenie odległości wskutek opadu śniegu.

W stacji powinna być umożliwiona praca przy wyłączonym obwodzie, gdy sąsiedni obwód (system szyn, pole) znajduje się pod napięciem. Takie prace zwane pracami w pobliżu napięcia są możliwe wówczas, gdy będzie zachowana ochrona przez stosowanie ekranów, przegród, osłon lub przez obudowy izolacyjne. Jeżeli środki te nie mogą być stosowane należy zapewnić ochronę przez

pracę w odległości bezpiecznej nie mniejszej niż D_L od nieosłoniętych części pod napięciem (patrz rys. 3.3, rys. 3.4), przy czym obwód wyłączony spod napięcia powinien znajdować się od obwodu pod napięciem w odległości, co najmniej D_V . Prace w pobliżu napięcia powinny być prowadzone zgodnie z obowiązującymi przepisami krajowymi [123] oraz normą PN-EN 50110-1:1996 [67].

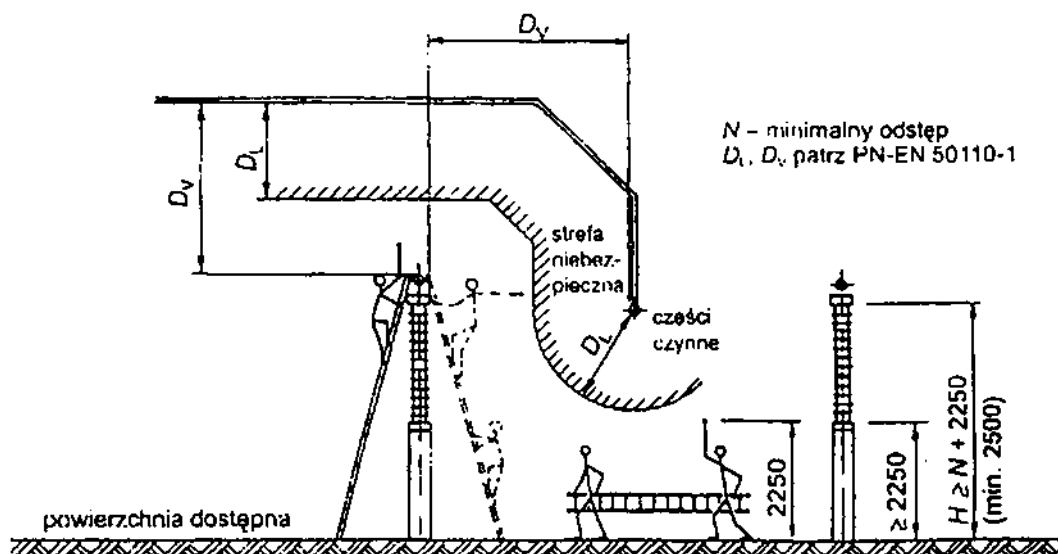


Rys. 3.3. Strefa prac pod napięciem i w pobliżu napięcia

Tabl. 3.5. Zalecane odstępki D_L strefy prac pod napięciem oraz D_V strefy w pobliżu napięcia wg normy [67] i przepisów [123]

Lp.	Napięcie nominalne sieci U_n	Najwyższe napięcie urządzenia U_m	Odstępy w powietrzu			
			D_L wg [67]	D_V wg [67]	D_L wg [123]	D_V wg [123]
-	[kV]	[kV]	[m]	[m]	[m]	[m]
1	6	7,2	0,12	1,12	0,6	1,4
2	10	12	0,15	1,15	0,6	1,4
3	15	17,5	0,16	1,16	0,6	1,4
3	20	24,0	0,22	1,22	0,6	1,4
4	30	36,0	0,32	1,32	0,6	1,4
5	110	123	1,1	2,1	1,1	2,1
6	220	245	2,1	4,1	2,5	4,1
7	400 ¹⁾	420	3,4	5,4	3,5	5,4
8	700	765	6,4	8,4	6,4	8,4

¹⁾ w [83] podano 380 kV.



Rys. 3.4. Wysokość minimalna i minimalna odległość zbliżenia wewnątrz zamkniętych obszarów ruchu elektrycznego (odstęp podano w [mm])

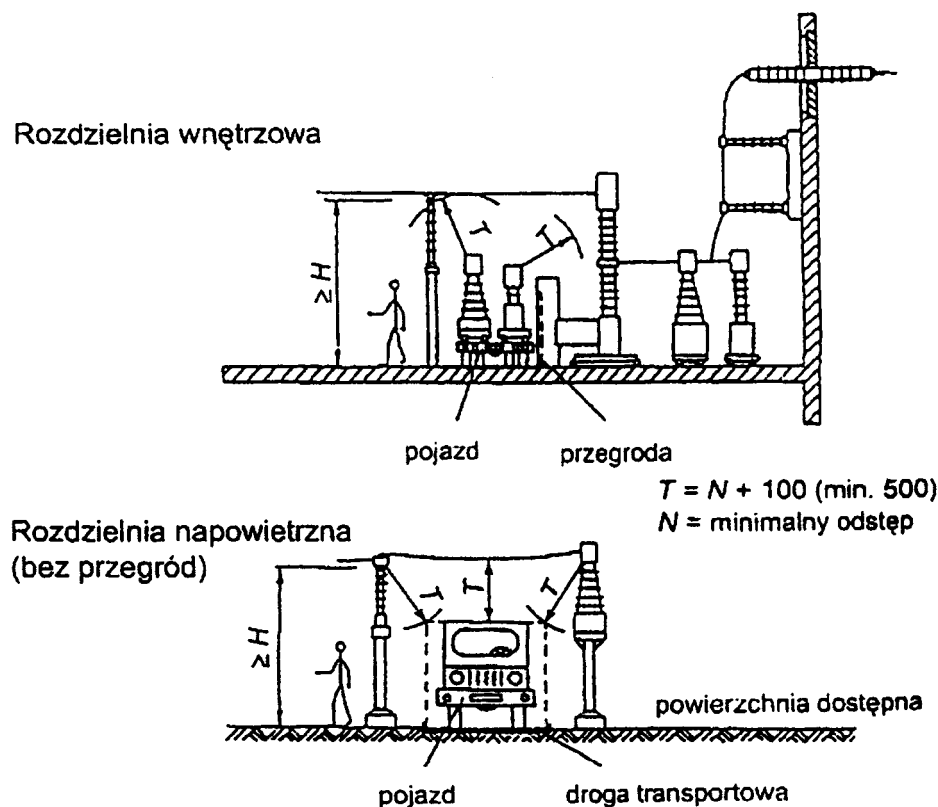
Wewnątrz zamkniętych obszarów ruchu elektrycznego poruszanie się pojazdów lub innych urządzeń ruchomych pod częściami czynnymi lub w ich pobliżu, jest dozwolone pod warunkiem spełnienia następujących wymagań (patrz rys. 3.5):

- Pojazd z otwartymi drzwiami i jego ładunek nie może naruszać strefy niebezpiecznej. Minimalna odległość zbliżenia dla pojazdów

$$T = N + 100 \text{ [mm]} \quad (3.10)$$

lecz nie mniej niż 500 mm.

- Zachowana jest minimalna wysokość H części powyżej obszarów dostępnych.



Rys. 3.5. Najmniejsze odstęp zbliżenia przy transporcie (odstęp podano w [mm])

3.4.2.4. Instalacje wewnętrzne otwarte

Przedstawione w rozdziale 3.4.2.3 środki ochrony przed dotykiem bezpośrednim dotyczą zarówno rozdzielni wewnętrznych jak i napowietrznych. Jedyne wymagania dotyczące usytuowania przeszkody jest dla instalacji wewnętrznych nieco łagodniejsze (patrz rys. 3.2). Odległość części czynnej od przeszkody może wynosić jedynie:

$$O_1 = N + 200 \text{ [mm]} \quad (3.11)$$

lecz minimum 500 mm.

Ponadto należy tutaj dodać wymagania dotyczące budynków, korytarzy, tras ewakuacyjnych, drzwi i okien. Budynek powinien być tak skonstruowany, aby wytrzymywał wszystkie obciążenia statyczne i dynamiczne wynikające z normalnej eksploatacji rozdzielni. Na części przenoszące obciążenie powinno się stosować materiały niepalne. Ścianki działowe, osłony i obudowy powinny być wykonane tylko z materiałów ognioodpornych. Obszary ruchu elektrycznego powinny być zaprojektowane tak, aby nie przedostawała się tam woda, a skraplanie było jak najmniejsze. Projekt budynku powinien uwzględniać spodziewane obciążenie mechaniczne i ciśnienie wewnętrzne powodowana przez łuk elektryczny.

Okna powinny być zaprojektowane tak, aby wejście dla osób nieupoważnionych było niemożliwe. Wystarczy przynajmniej jeden z następujących środków:

- okno jest wykonane z materiału nietłukącego się,
- okno jest osłonięte,
- dolna krawędź okna znajduje się, co najmniej 1800 mm ponad poziomem dostępu,
- budynek jest otoczony ogrodzeniem zewnętrznym o wysokości, co najmniej 1800 mm.

Wymiary pomieszczeń rozdzielni i wymaganych otworów do odprowadzenia ciśnienia zależą od rodzaju rozdzielni i powinny być podane przez producenta. Otwory powinny być zlokalizowane tak, aby podczas działania, czyli wydmuchu na skutek zwarcia łukowego nie występowało zagrożenie ani dla ludzi ani dla przedmiotów.

Obszary eksploatacji, na które składają się korytarze przejścia, tereny dostępu, dojścia dla obsługi i trasy ewakuacyjne powinny być dostosowane do wykonywania prac czynności eksploatacyjnych, działań awaryjnych i transportu urządzeń. Przejścia powinny mieć szerokość, co najmniej 800 mm. Przestrzeń ewakuacyjna powinna mieć szerokość, co najmniej 500 mm. Drzwi do przedziałów rozdzielni powinny się zamykać w kierunku drogi ewakuacyjnej. Wejścia powinny być rozplanowane tak, aby długość trasy ucieczki wewnątrz pomieszczenia nie przekraczała 40 m dla napięć znamionowych $U_m > 52$ kV i 20 m dla napięć $U_m \leq 52$ kV. Jeżeli długość trasy ucieczki nie przekracza 10 m wystarczy jedno wyjście ewakuacyjne, jeżeli jest większa muszą być dwa wyjścia ewakuacyjne na obu końcach. Drzwi wejściowe powinny otwierać się na zewnątrz, powinny mieć zamki bezpieczeństwa, drzwi prowadzące na zewnątrz powinny być wykonane z materiału ognioodpornego. Od wewnątrz drzwi powinny otwierać się bez klucza.

3.4.2.5. Instalacje napowietrzne otwarte

Wymagania dotyczące zastosowanych środków ochrony przed dotykiem bezpośrednim podano w rozdziale 3.4.2.3. Uzupełnienia wymagają jedynie dopuszczalne odstępów od budynków zlokalizowanych na terenie instalacji napowietrznych. Tam gdzie przewody krzyżują się z budynkami powinny być zachowane przy maksymalnym zwisie następujące odstępów w stosunku do dachu (patrz rys. 3.6.):

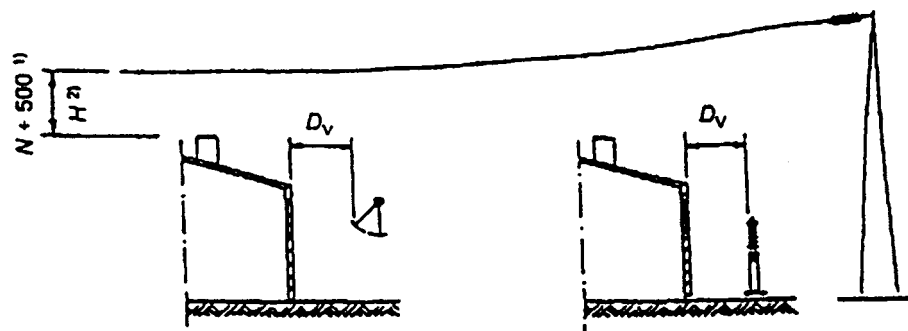
- odstęp H podany wcześniej dla usytuowania poza zasięgiem ($H=N+2250$, nie mniej niż 2500 mm), jeżeli dach jest dostępny, gdy przewody są pod napięciem,
- $H=N+500$ mm, jeżeli nie ma dostępu do dachu, gdy przewody są pod napięciem,
- O_2 w kierunku bocznym od końca dachu, jeżeli dach jest dostępny, gdy przewody są pod napięciem.

Tam, gdzie przewody gołe zbliżają się do budynków (zlokalizowanych na wydzielonych obszarach ruchu elektrycznego) powinny być zachowane niżej podane minimalne odstępów, z uwzględnieniem zwisu i wychyłu:

- od ściany zewnętrznej, z oknami bez osłon odstęp D_V zgodnie z PN-EN 50110-1 (patrz tabl. 3.2),
- od ściany zewnętrznej, z oknami osłoniętymi odstęp przegrody B_2 ,
- od ściany zewnętrznej bez okien minimalny odstęp N .

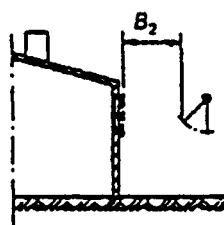
3.4.2.6. Porównanie wymagań ochrony podstawowej wg PBUE i normy PN-E 05115:2002

Porównanie wymaganych minimalnych odległości części czynnych od przegrody, przeszkody i powierzchni dostępnej oraz odległości zapewniającej bezpieczną pracę w pobliżu napięcia dla rozdzielni wewnętrznych przedstawiono w tab. 3.6. Porównanie wymaganych minimalnych odległości części czynnych od przegrody, przeszkody i powierzchni dostępnej oraz odległości zapewniającej bezpieczną pracę w pobliżu napięcia dla rozdzielni napowietrznych przedstawiono w tab. 3.7.

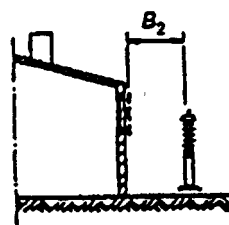


- D_v patrz PN-EN 50110-1 N = minimalny odstęp
 1) Nie wolno wchodzić na dach, gdy przewody są pod napięciem
 2) Można wchodzić na dach, gdy przewody są pod napięciem

Ścianka zewnętrzna z oknami bez osłon

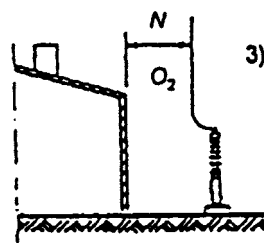
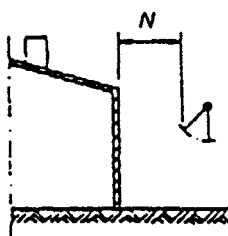


$B_2 \geq N + 100$



N = minimalny odstęp

Ścianka zewnętrzna z ekranowanymi oknami



- 3) $O_2 \geq N + 300$ (min. 600), jeżeli można wchodzić na dach, gdy przewody są pod napięciem

Ścianka zewnętrzna bez okien

Rys. 3.6. Zbliżenia do budynków (wewnątrz zamkniętych obszarów ruchu elektrycznego), odstępy podano w [mm]

Tabl. 3.6. Wymagane odległości od części pod napięciem w rozdzielniach wewnętrznych (wg PBUE [122] - wg PN-E05115 [62])

Napięcie nominalne sieci	Podstawowy odstęp izolacyjny A-N	Najmniejsza wysokość przewodu gołego nad podłogą C-H	Odległości od przegrody		Odległości od przeszkody F-0 ₁	Najmniejsze odległości między częściami pod napięciem należącymi do różnych obwodów wg [122]	
			pełnej D-B1	siatkowej E-B2		przy wykluczeniu pracy na sąsiednim obwodzie (Gj)	przy przewidywanej pracy ludzi na sąsiednim obwodzie (G)
[kV]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]
6	9-6 -9	250 - 250	12-6 -9	19-14 -17	60-50	11	200
15	16 -'12 -16	250 - 250	19-12 -16	26-20 -24	70-50	20	200
20	19-16 -22	250 - 250	22-16 -22	29-24 -30	70-50	24	200
30	26-27 -32	255-252 -257	29-27 -32	36-35 -40	76-50 -52	32	200
110 ¹⁾	80-90 -110	310-315 -335	83-90 -110	90-100 -120	120-110 -130	96	220

¹⁾ wg PBUE sieć musi mieć skutecznie uziemiony punkt neutralny.

Tabl. 3.7. Wymagane odległości od części pod napięciem w rozdzielniach napowietrznych wg PBUE i PN-E 051515

Napięcie nominalne sieci	Podstawowy odstęp izolacyjny A-N	Najmniejsza wysokość przewodu gołego nad poziomem terenu C-H	Odległości od przegrody		Odległość od przeszkody F-B ₃	Najmniejsze odległości między częściami pod napięciem należącymi do różnych obwodów wg [122]
			pełnej D-B1	siatkowej E-B ₂		
[kV]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]
15	16-16	291 -250	19-16	26-24	100-60	200
20	22-16 -22	291 - 250	25-16 -22	32-24 -30	100-60	200
30	32-27 -32	291-252 -257	35-27 -32	42-35 -40	100-60 -62	200
110 ¹⁾	92-90 -110	342-315 -335	95-90 -110	102-100 -120	125 -120 -140	250
220 ¹⁾	185-170 -190 -210	435-395 -415 -435	108-170 -190 -210	195-180 -200 -220	215-200 -220 -240	400

¹⁾ - wg PBUE sieć musi mieć skutecznie uziemionym punkt neutralny.

Wprowadzenie dwóch lub nawet dla 220 kV trzech poziomów izolacji pozwoliło na zastosowanie zmniejszonych minimalnych odległości dla niższego poziomu izolacji w stosunku do odległości określonych w PBUE jedynie dla jednego, wyższego poziomu izolacji. PNE dopuszcza dla napięć średnich mniejsze odległości od przeszkody niż PBUE. Wg PNE odległość od pełnej przegrody jest równa odstępowi N. W PBUE była ona o 30 mm większa od podstawowego odstępu minimalnego A zwanego w PNE odstępem minimalnym N. Najmniejsze odległości między

obwodami umożliwiające wykonywanie prac przy wyłączonym obwodzie, gdy sąsiedni jest pod napięciem w obecnych przepisach [62] nie jest podawane. Sprawy te regulują przepisy związane z wykonywaniem prac w pobliżu napięcia [67], [123].

3.4.3. Ochrona przed zagrożeniem łukiem elektrycznym

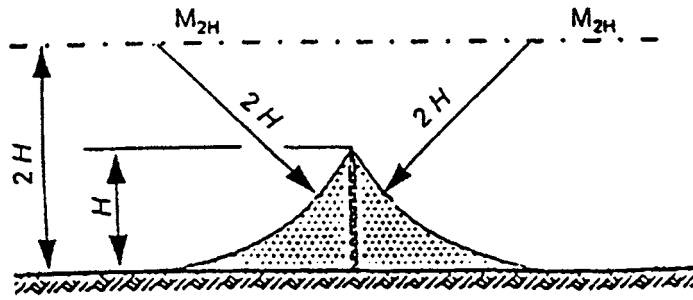
Rozdzielnie powinny być tak zbudowane, aby podczas czynności eksploatacyjnych personel był chroniony przed zagrożeniem powodowanym przez zwarcia łukowe. W tym celu podczas projektowania i budowy należy zastosować odpowiednie środki zaradcze, a mianowicie:

1. Zabezpieczyć przed błędami łączeniowymi przez:
 - stosowanie rozłączników zamiast odłączników,
 - stosowanie uzienników wytrzymujących załączenie na zwarcie,
 - stosowanie blokad,
 - stosowanie zamków z niewymienialnymi kluczami blokującymi.
2. Korytarze eksploatacyjne powinny być możliwie krótkie, szerokie i wysokie.
3. Pełne osłony jako obudowy lub przegrody zamiast osłon perforowanych lub z siatki drucianej.
4. Urządzenia zamknięte o sprawdzonej wytrzymałości na łuk wewnętrzny zamiast urządzeń typu otwartego.
5. Kierowanie produktów łuku poza obsługujący personel i wyprowadzenie na zewnątrz budynku.
6. Stosowanie urządzeń ograniczających prąd zwarciovowy.
7. Bardzo krótki czas wyłączania osiągany za pomocą zabezpieczenia bezzwłocznego lub za pomocą reagujących na ciśnienie, światło lub ciepło.
8. Obsługa urządzeń z bezpiecznej odległości.

3.4.4. Ochrona przed bezpośrednim uderzeniem pioruna

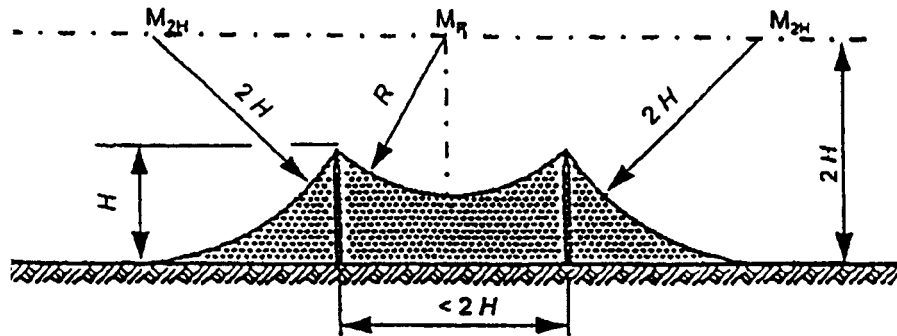
Stację przed bezpośrednim uderzeniem pioruna można chronić przez zastosowanie uzienionych zwodów poziomych (przewodów odgromowych) i zwodów pionowych. Można uniknąć bezpośredniego uderzenia pioruna z wysokim stopniem pewności dla instalacji o wysokości do 25 m stosując przewody odgromowe lub zwody pionowe o odpowiedniej strefie ochrony wg zasad przedstawionych na rys. 3.7. Pojedynczy przewód odgromowy tworzy strefę ochronną o kształcie namiotu, której granice są określone łukami o promieniu $2H$ rozpoczynającymi się na szczycie przewodu odgromowego i biegnącymi wzdłuż przewodu - rys. 3.7.a). Dwa przewody odgromowe prowadzone w odległości mniejszej niż $2H$ tworzą strefę ograniczoną przez dwa przewody, łuk o promieniu R i środkiem MR - rys. 3.7.b). Strefa ochronna zwodu pionowego jest przeważnie większa niż strefa ochronna od przewodu odgromowego o tej samej wysokości. Pojedynczy zwód pionowy tworzy strefę ochronną o kształcie stożka, ograniczoną przez łuki o promieniu $3H$ przechodzące przez koniec zwodu - rys. 3.7.c). Dwa zwody pionowe o rozstawie większym niż $3H$ tworzą strefę ochronną, która jest ograniczona przez łuk o promieniu R ze środkiem MR na wysokości $3H$ przechodzącym przez szczyty zwodów - rys. 3.7.d). W stacjach o górnym napięciu nieprzekraczającym 30 kV i z zainstalowanymi transformatorami o łącznej mocy nieprzekraczającymi 1600 kVA ochrona od bezpośrednich uderzeń pioruna nie jest wymagane [62].

a)



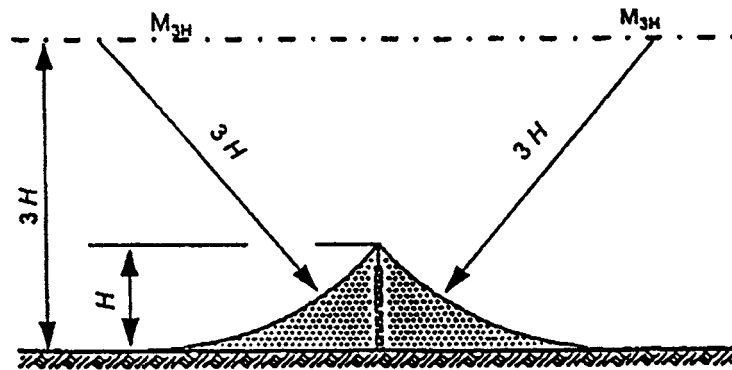
Pojedynczy przewód odgromowy

b)



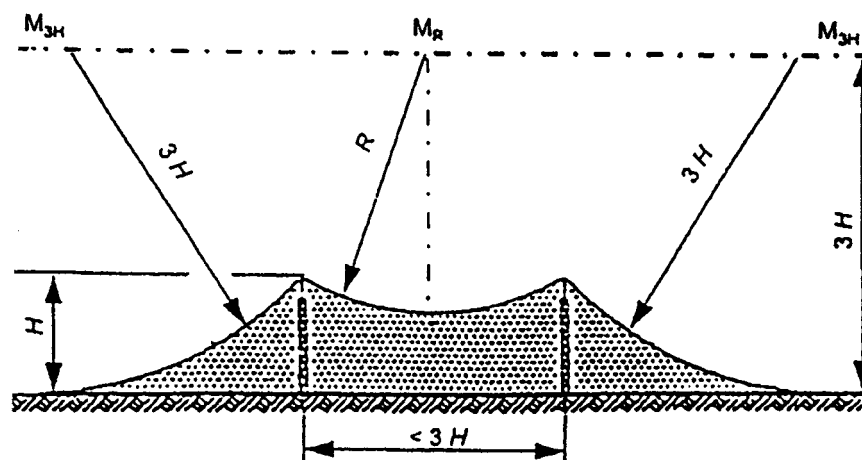
Dwa przewody odgromowe

c)



Pojedynczy zwód pionowy

d)



Dwa zwody pionowe

Rys. 3.7. Strefy ochronne przewodów odgromowych i zwodów pionowych

3.5. WARUNKI ŚRODOWISKOWE STACJI

3.5.1. Posadowienie stacji

Stacja, ze względu na głębokość przemarzania gruntu, może być posadowiona we wszystkich strefach $0,7 \div 1,4$ m poniżej poziomu terenu z ograniczeniem podanym w warunkach posadowienia. Ograniczeniem jest także zakres obciążeń od śniegu i wiatru, uwzględnionych dla konstrukcji stacji. Głębokość posadowienia fundamentu powinna według normy PN-81/B-03020 spełniać następujące warunki:

- zagłębienie podstawy fundamentu w stosunku do powierzchni przyległego terenu nie powinno być mniejsze niż 0,5 m; projektowanie zagłębienia mniejszego niż 0,5 m wymaga uzasadnienia,
- w gruntach wysadzinowych głębokość posadowienia nie powinna być mniejsza od umownej głębokości przemarzania h_z , którą należy przyjmować zgodnie z rys. 3.8 dla danej części kraju,
- głębokość przemarzania należy mierzyć od poziomu projektowanego terenu,
- pod całą powierzchnią fundamentu należy wymienić grunt na piasek gruby o stopniu zagęszczenia $I_D > 0,2$ na głębokość zależną od strefy przemarzania, tj. max 1,4 m,
- przewiduje się posadowienie stacji bezpośrednio na podłożu gruntowym, ale rozwiązanie takie może być zastosowane we wszelkiego rodzaju gruntach niespoistych i niewysadzinowych (piaski, żwiry) o stopniu zagęszczenia $I_D > 0,2$ zalegających do głębokości min. $0,7 \div 1,4$ m w zależności od strefy przemarzania gruntu.

Do gruntów wysadzinowych zalicza się wszystkie grunty zawierające więcej niż 10% cząstek o średnicy zastępczej mniejszej niż 0,02 mm oraz wszystkie grunty organiczne (grunty spoiste, o stopniu plastyczności $I_L > 0,4$). W przypadku występowania innych gruntów, niż podane wyżej, należy wykonać indywidualny projekt posadowienia. Wprowadzenie kabli do stacji jest możliwe ze wszystkich czterech stron i z tego względu przy wyznaczaniu długości i szerokości wykopu należy wziąć pod uwagę usytuowanie stacji i miejsca wprowadzenia kabli. Od strony przyłącza kablowego ściana wykopu powinna być oddalona od ściany fundamentu stacji o ~ 100 cm, a od pozostałych o ~ 40 cm. Po ustawieniu stacji i wykonaniu przyłączy elektrycznych wykop wypełnić piaskiem zagęszczając go warstwami, co 20 cm. Warstwa wierzchnia wykopu powinna być wykończona zgodnie z planem zagospodarowania terenu. Otwory w fundamencie do mocowania uchwytów transportowych po ustawieniu stacji w wykopie należy zabezpieczyć przed wilgocią i zanieczyszczeniem przez wypełnienie ich odpowiednimi materiałami budowlanymi, przy czym zalecane jest wyprowadzenie instalacji uziemiającej właśnie przez otwory transportowe. Po posadowieniu i przyłączeniu stacji klient powinien wykonać opaskę obwodową wokół stacji z płyt chodnikowych 35×35 cm.

Uwaga:

Wymagana jest indywidualna analiza konstrukcyjna w przypadkach:

- odmiennych od wyżej wymienionych,
- posadowienia obiektu na skarpach,
- jeżeli obok projektuje się wykopy,
- na uszkodach górniczych,
- w gruntach nawodnionych.

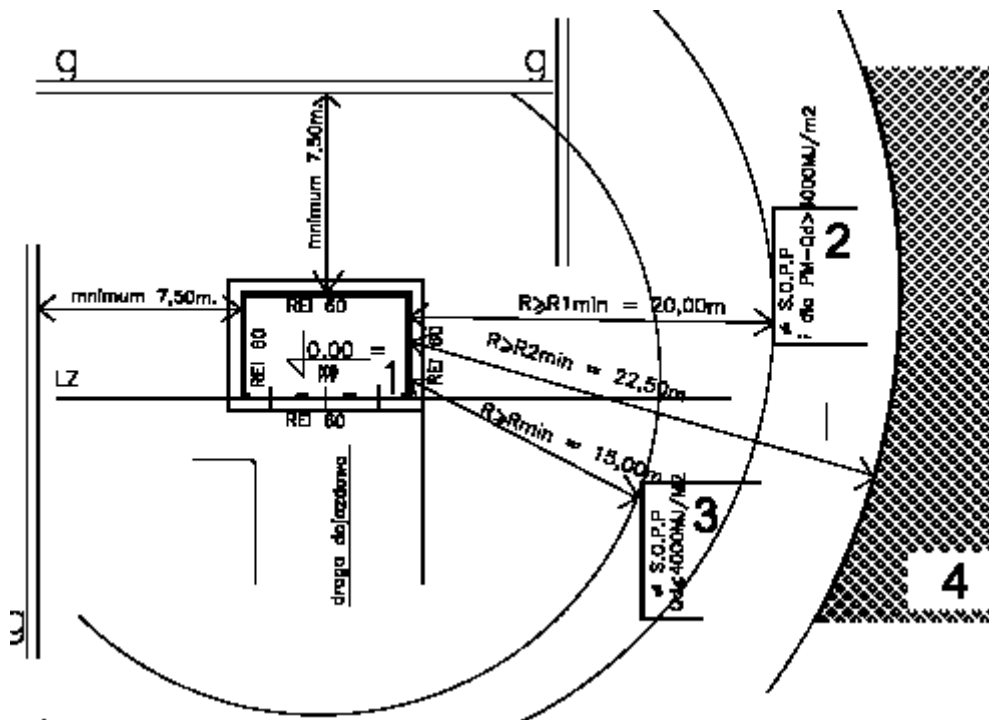


Rys. 3.8. Podział Polski na strefy w zależności od głębokości przemarzania gruntów

3.5.2. Ochrona przeciwpożarowa

Zgodnie z rozporządzeniem Ministra Infrastruktury z dn. 12 kwietnia 2002 r. Dz.U. Nr 75 poz. 690 [124], stacja może być wykonywana w następujących opcjach konstrukcyjnych uwzględniających wymagania przeciwpożarowe (rys. 3.9):

- Opcja 1 – wykonanie standardowe pozwalające zachować minimalne odległości 15 m do sąsiadujących budynków na innych działkach budowlanych lub 7,5 m od granicy niezabudowanej działki budowlanej;
- Opcja 2 – wykonanie specjalne pozwalające usytuować stację bezpośrednio przy istniejącym budynku lub granicy niezabudowanej działki budowlanej – rozwiązanie to daje możliwość zbliżenia stacji max z trzech stron za wyjątkiem czwartej ściany wyposażonej w drzwi wejściowe.



Rys. 3.9. Warunki usytuowania stacji, gdzie: 1 - stacja; 2 - budynki zagrożone wybuchem; 3 - budynki zaliczone do kategorii: zagrożone ludzi, inwentarskie, produkcyjno-magazynowe, otwarte składy; 4 - obszar leśny; g - granica działki; LZ - linia zabudowy

3.6. STACJE WNĘTRZOWE ŚREDNIEGO NAPIĘCIA

Istnieje duża różnorodność rozwiązań konstrukcyjnych rozdzielni wewnętrznych. Z punktu widzenia ochrony przed dotknięciem części pod napięciem można wyróżnić rozdzielnice:

- otwarte,
- częściowo osłonięte,
- osłonięte.

Z punktu widzenia dostępności do urządzeń zainstalowanych w rozdzielni:

- przyścienne,
- wolnostojące.

Ze względu na sposób połączenia łączników rozdzielnie:

- jednoczłonowe,
- dwuczłonowe.

Przykładem rozpowszechnionej konstrukcji rozdzielnic średniego napięcia są rozdzielnice otwarte jednoczłonowe typu RU. Są one stosowane w energetyce przemysłowej i zawodowej. Konstrukcje te są przeznaczone do instalowania w pomieszczeniach ruchu elektrycznego i mogą być obsługiwane przez uprawniony personel, stopień ochrony IP00. Przykład pola liniowego takiej rozdzielnicy z pojedynczym systemem szyn zbiorczych na napięciu 20 kV przedstawiony jest na rys. 3.10. i 3.11. Pole tej rozdzielnicy podzielone jest na dwie części: górną i dolną. Instaluje się je w pomieszczeniach dwukondygnacyjnych, z podpiwniczeniem. Część górna zawiera szyny zbiorcze umocowane za pośrednictwem izolatorów wsporczych na ściankach bocznych celki, odłącznik szynowy, wyłącznik i przekładniki prądowe. Szyny zbiorcze oddzielone są od pozostałej części pola za pomocą daszka łukochronnego. Część górna jest wolnostojąca. Od strony korytarza obsługi znajduje się wnęka przekaźnikowa zamknięta blaszanymi drzwiami oraz na lewym pasie blaszanej osłony dźwignia napędu odłącznika szynowego. Od strony drugiego korytarza tzw.

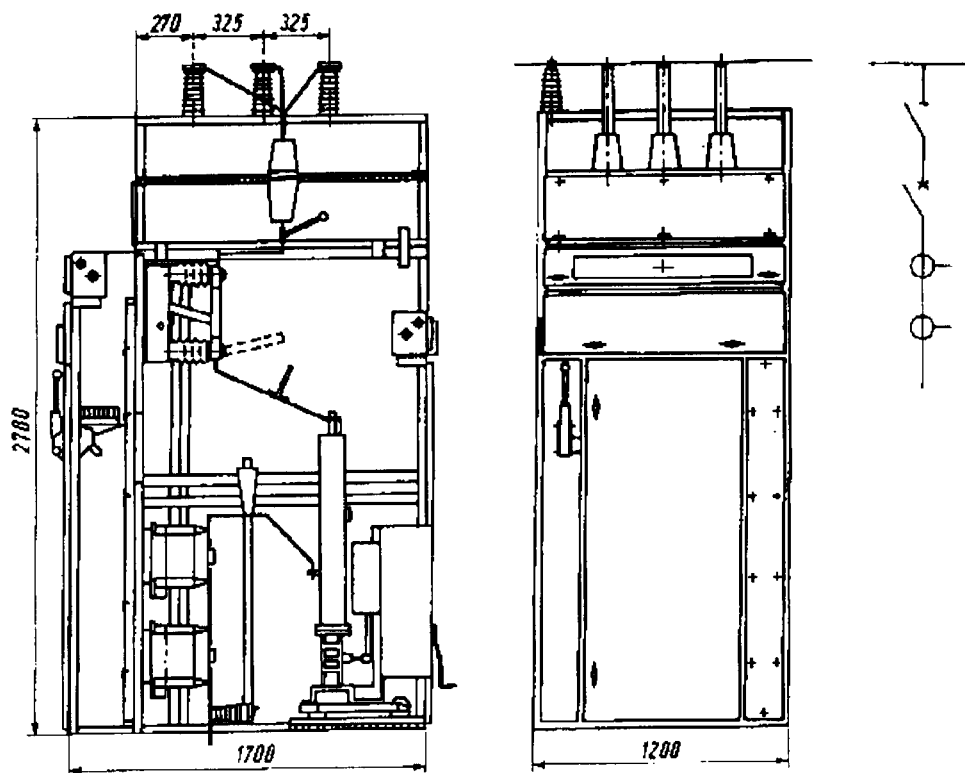
korytarza nadzoru celka oddzielona jest ogrodzeniem siatkowym. W podpiwniczeniu znajduje się dolna część pola, która zawiera głowice kablowe i przekładniki Ferrantiego. W dolnej części umieszcza się również, w zależności od potrzeby, odłączniki liniowe z nozami uziemiającymi, przekładniki napięciowe. Dane znamionowe rozdzielni:

- napięcie znamionowe 20 kV,
- prąd znamionowy szyn zbiorczych 630, 1250 i 2000 A,
- prąd znamionowy 1s 20 kA,
- prąd znamionowy szczytowy 50 kA.

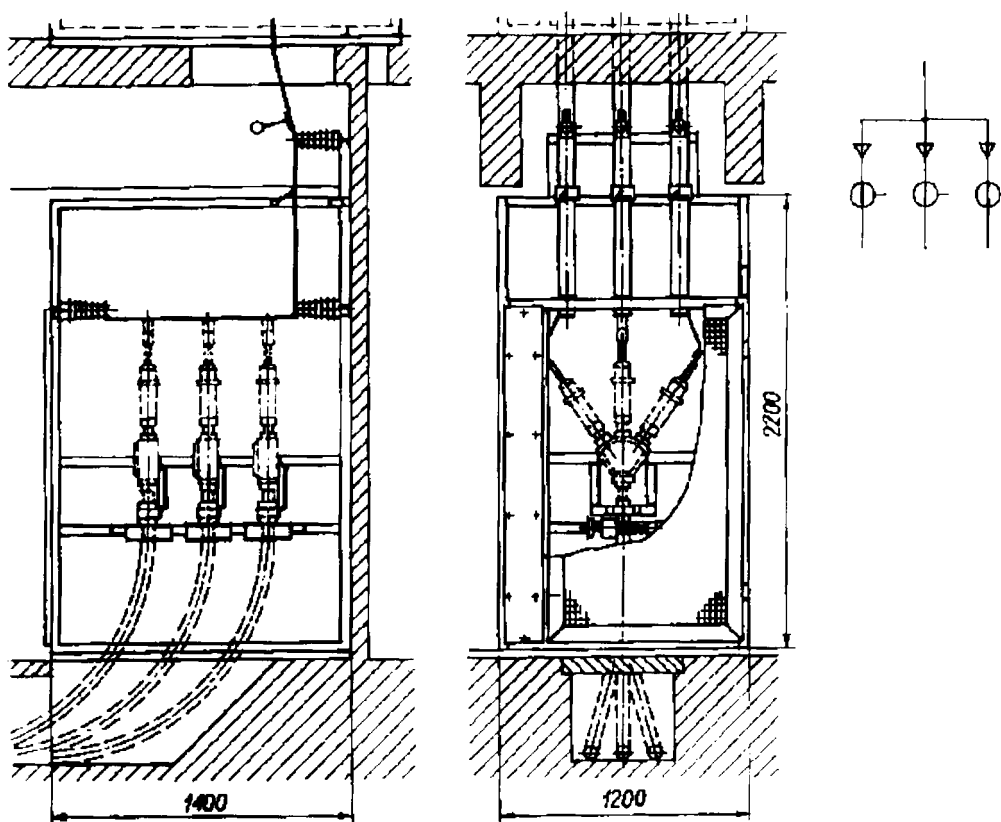
Przykładem jednego z najnowszych rozwiązań rozdzielni jednoczłonowych średniego napięcia jest miniRELS (produkcji Elektromontaż Katowice) produkowana na napięcia znamionowe 12 i 24 kV a przedstawiona na rys. 3.12 i rys. 3.13. Jest ona przeznaczona do instalowania w stacjach o górnym napięciu 110 kV, w energetyce przemysłowej i zawodowej. Przykład sieci, w której zainstalowano te rozdzielnie przedstawiono na rys. 3.14. MiniRELS to rozdzielnia osłonięta z izolacją powietrzną w obudowie metalowej z pojedynczym systemem szyn zbiorczych. Składa się z małogabarytowych szaf o różnych funkcjach. Wszystkie szafy mają stałą głębokość 1000 mm, wysokość 1950 mm. Szerokość jest zróżnicowana, pole z wyłącznikiem ma szerokość 750 mm, inne pola w zależności od wyposażenia 750, 500, 300 mm. Rozdzielnia jest przyścienną i zapewnia wysokie bezpieczeństwo dzięki zastosowaniu osłon zewnętrznych o stopniu ochrony IP3X, Podziałowi na przedziały z przegrodami o stopniu bezpieczeństwa IP2X oraz zastosowaniu systemu blokad uniemożliwiający wykonanie nieprawidłowych czynności łączeniowych. Szyny zbiorcze są miedziane, z płaskowników w układzie płaskim prowadzone są w odrębnym przedziale osłoniętym od dołu przezroczystą przegrodą. Stosunkowo małą szerokość celek osiągnięto dzięki umieszczeniu aparatów łączeniowych poprzecznie do osi szyn zbiorczych. Patrząc od czoła rozdzielni bieguny aparatów znajdują się jeden nad drugim, a nie jak to miało miejsce w innych rozdzielniach jeden obok drugiego. Szyny zbiorcze składają się z odcinków dostosowanych do szerokości szafy i przykręcone są do górnych zacisków odłącznika lub rozłącznika izolowanymi nakrętkami. Przedziały szyn zbiorczych poszczególnych szaf nie są odgródzone od siebie płytami izolacyjnymi, co umożliwia lepsze chłodzenie. W polach zastosowano izolatory wsporcze reaktancyjne umożliwiające zastosowanie w płycie czołowej wskaźników napięcia w poszczególnych fazach obwodu głównego. Rozłączniki i odłączniki szynowe mają trzy położenia:

- załączenia,
- wyłączenia,
- uziemienia.

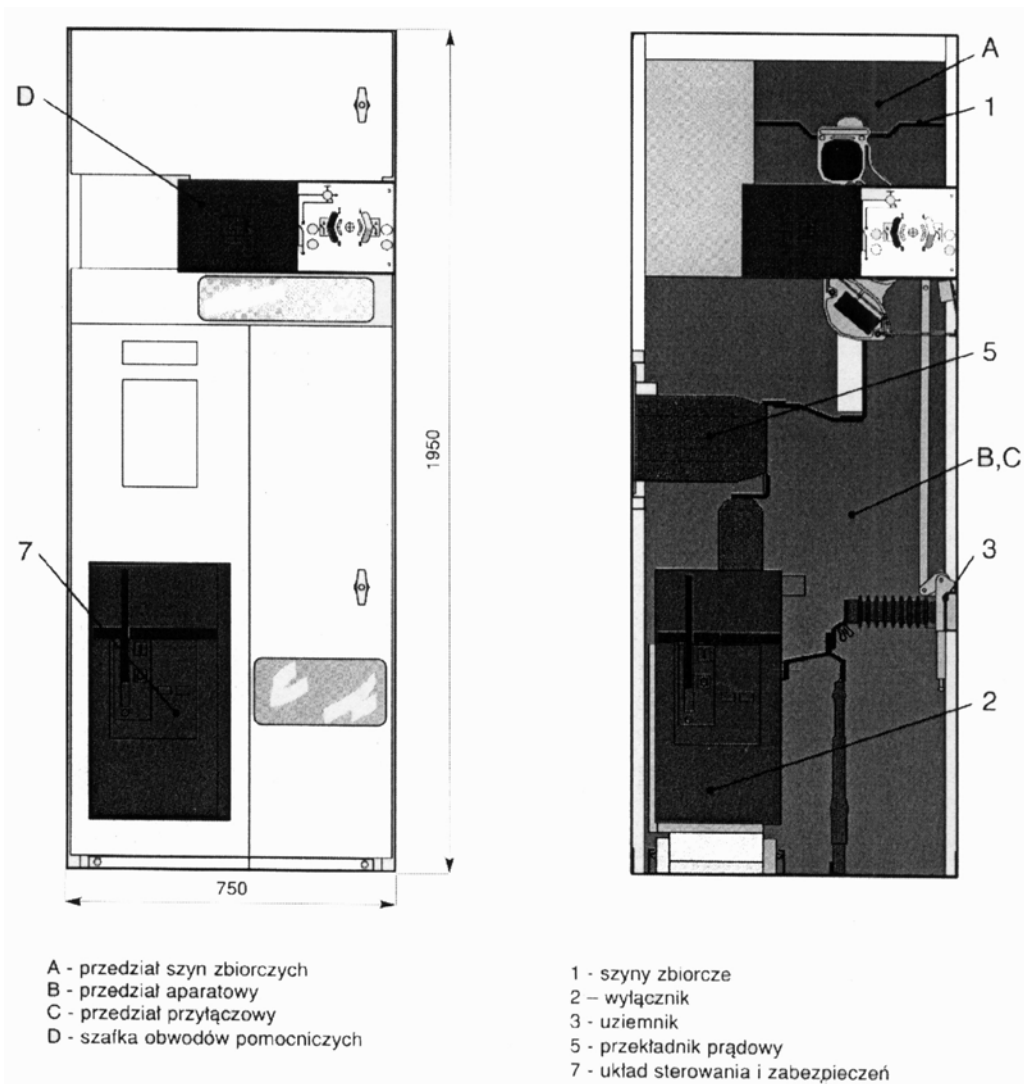
Jeżeli pole jest wyposażone w uziemnik liniowy (dolny) to zamyka się on jednocześnie przy przestawieniu łącznika szynowego z położenia otwartego w położenie uziemienia. Rozdzielnica jest wyposażona w rozłączniki i uziemnik "Sarel" oraz wyłączniki ABB-SACE typu HAD z SF₆ działający w oparciu o wykorzystanie energii łuku wewnętrznego, generację ciśnienia przez sam łuk łączeniowy tzw. termoeekspansję. Wyłącznik jest standartowo wyposażony w moduł zabezpieczeniowy, przekładniki prądowe, wyzwalacze załączające i wyłączające oraz pięć par styków pomocniczych. Wszystkie szafy dostosowane są do wyprowadzenia kabli od dołu.



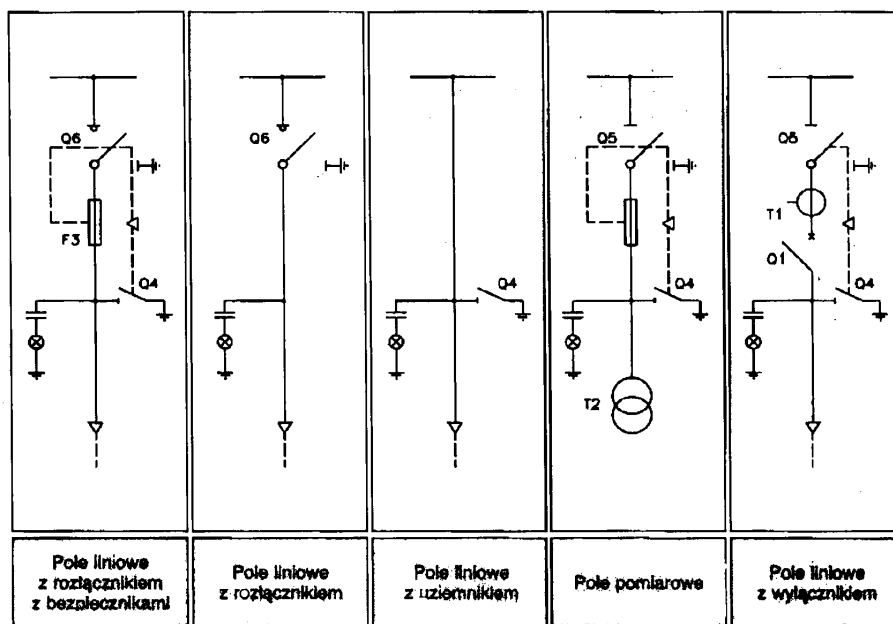
Rys. 3.10. Górna część rozdzielnicy typu RU



Rys. 3.11. Dolna część rozdzielnicy typu RU



Rys. 3.12. Widok z przodu pola liniowego z wyłącznikiem rozdzielnic typu miniRELS



Rys. 3.13. Schematy pól rozdzielni typu miniRELS

Podobnymi rozdzielnicami są rozdzielnice ROTOBLOK (rys. 3.15). Zastosowano w nich odłączniki i rozłączniki typu "Rotary" (zostanie omówiony w dalszym podrozdziale). Zasada ich działania opiera się na obrocie izolatorów przepustowych umocowanych w połowie ich długości do izolacyjnego wału. Zamknięcia łącznika następuje przez połączenie elementem przewodzącym izolatora przepustowego górnego i dolnego stałego. Otwarte łączniki "Rotary" pozwalają jednocześnie na podział pola na dwa lub trzy przedziały (3 w przypadku pola liniowego z dwoma odłącznikami). Znaczne zmniejszenie wymiarów pól rozdzielni (szczególnie wysokości) oraz zwiększenia bezpieczeństwa i wygody obsługi uzyskuje się w jednosystemowych rozdzielniach dwuczłonowych. W rozdzielniach tych dzięki umieszczeniu wyłącznika na wózku nie ma potrzeby stosowania odłączników szynowego i liniowego, gdyż zastępują je zestyki międzyczłonowe. Przerwa izolacyjna powstaje przy wysuwaniu otwartego wyłącznika. Pola rozdzielni dwuczłonowej mogą znajdować się w czterech różnych stanach:

- pracy,
- próby,
- odłączenia (spoczynku),
- rozdzielenia.

W stanie pracy człon ruchomy jest wsunięty do członu stałego i zablokowany, przez co uzyskuje się skuteczne połączenie elektryczne torów głównych i pomocniczych między częścią ruchomą i stałą. W stanie odłączenia (spoczynku) człon ruchomy jest wysunięty do takiego położenia, że następuje odłączenie elektryczne wszystkich torów prądowych głównych i pomocniczych oraz zostaje stworzona między nimi przerwa izolacyjna. W stanie próby stan torów głównych odpowiada stanowi spoczynku, a torów pomocniczych stanowi pracy, co umożliwia sprawdzenie działania wyłącznika i jego napędu bez konieczności wymontowania go z rozdzielnicy. W stanie rozdzielenia człon ruchomy jest całkowicie wysunięty z szafy pola i może być usunięty poza rozdzielnicę. Człon stały pola rozdzielnicy ma najczęściej cztery oddzielone od siebie przegrodami przedziały:

- szyn zbiorczych,
- członu wysuwanego,
- przyłączowy,
- obwodów pomocniczych.

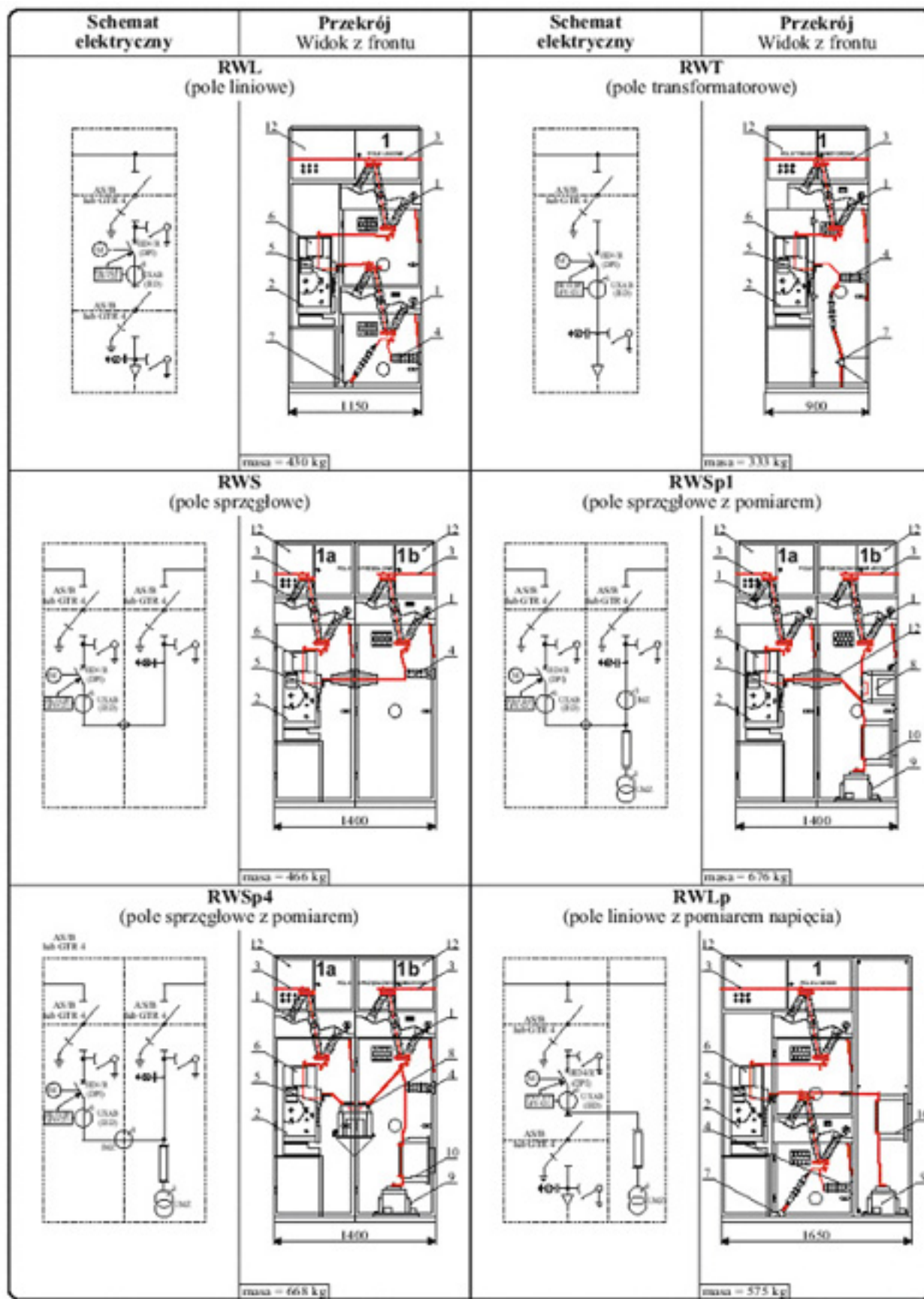
Wysokie bezpieczeństwo obsługi zapewnione jest przez zastosowanie blokad mechanicznych i elektromechanicznych eliminujących nieprawidłowe czynności łączeniowe i uniemożliwiających otwarcie drzwi przedziału po wykonaniu odpowiednich czynności łączeniowych.

Przykładem rozdzielnicy dwuczłonowej jest rozdzielnica typu RD przedstawiona na rys. 3.16. Budowana jest na napięcie 10 i 20 kV. Rozdzielnice mogą mieć 17 różnych odmian pól o różnorodnym wyposażeniu. Człon stały rozdzielnicy ma trzy oddzielone od siebie metalowymi przegrodami przedziały: członu ruchomego, szyn zbiorczych i przyłączeniowy. Szyny zbiorcze umocowane są do izolatorów przepustowych stanowiących jednocześnie styki nieruchome łącznika międzyczłonowego. Izolatory przepustowe między przedziałem członu ruchomego a przyłączeniowym zawierają również nieruchome styki łącznika międzyczłonowego. Gdy człon ruchomy znajduje się w stanie próby, wówczas dostęp do styków stałych jest zamykany ruchomymi zasłonami metalowymi. W przedziale przyłączeniowym poza izolatorami przepustowymi montowane są przekładniki prądowe i napięciowe, uziemnik oraz zaciski przyłączeniowe głowicy kablowej.

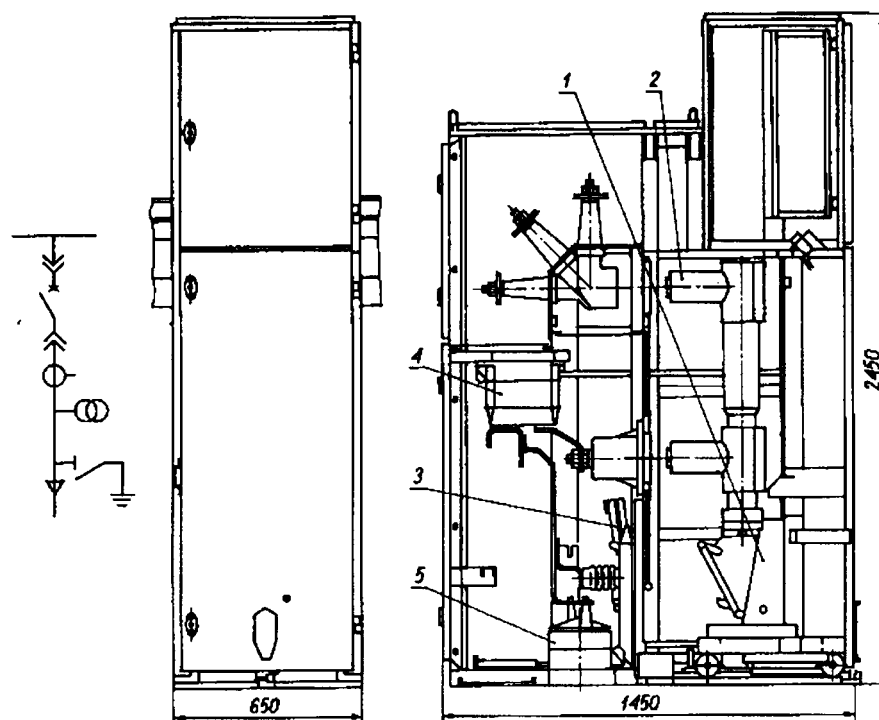
Pola rozdzielni mogą być wyposażone w jeden z dwu rodzajów uziemnika:

- szybki, zdolny do załączania prądów zwarciovych o wartości szczytowej 80 kA,
- normalny, zdolny wytrzymać taki prąd zwarciovych jedynie w stanie zamkniętym.

Wadą rozdzielnicy RD jest dostosowanie pól wyłącznikowych jedynie do stosunkowo dużych wyłączników małoolejowych typu SCI, co powoduje, że wymiary pól rozdzielnicy są stosunkowo duże.



Rys. 3.15. Schematy i widoki pól rozdzielni typu ROTOBLOK



Rys. 3.16. Rozdzielnica RD-1 w stanie próby (wózek częściowo wysunięty), przy czym: 1-człon ruchomy z wyłącznikiem SC14; 2-styki zestyku rozłącznego w tulejach izolacyjnych; 3-uziennik; 4-przekładnik prądowy; 5-przekładnik napięciowy (wymiar w mm)

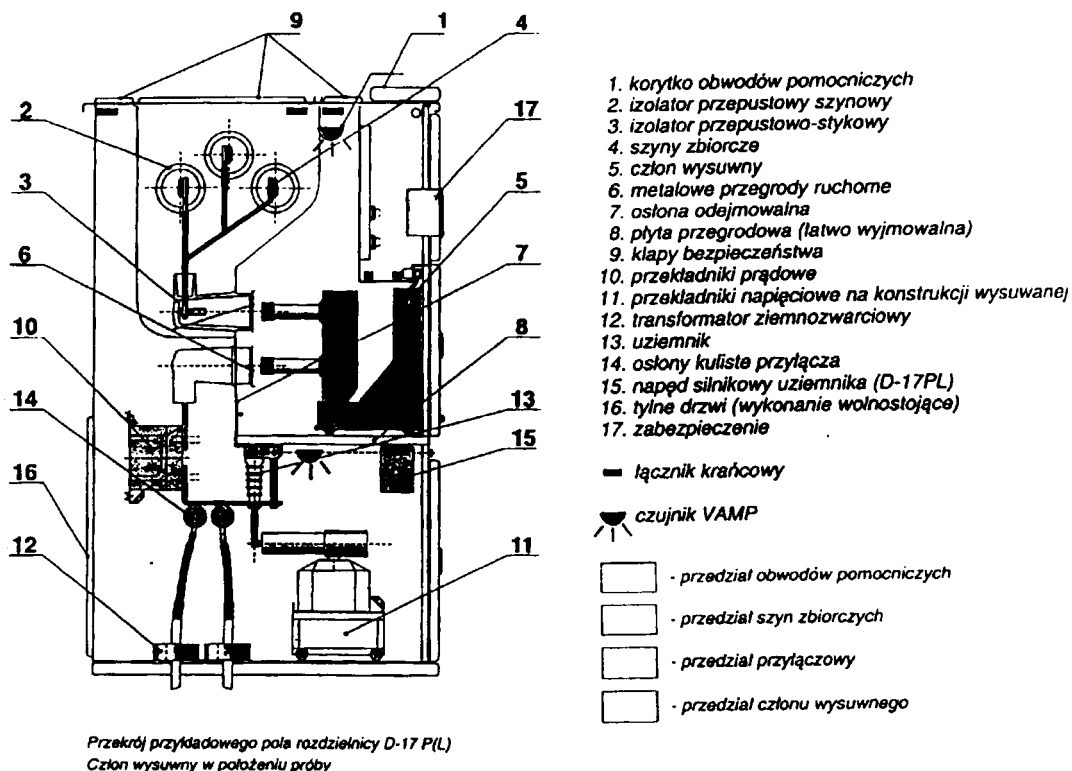
Innym przykładem rozdzielnic dwuczłonowej może być rozdzielnica D-17P (produkcji Elektrobudowy). Rozdzielnice te przeznaczone są do instalowania w sieciowych stacjach elektroenergetycznych w budynkach i przenośnych kontenerach, a także w zakładach przemysłowych do zasilania odbiorców o napięciu od 7,2 do 17,5 kV. Jest to rozdzielnica wolnostojąca, osłonięta wykonana z blach, o szerokości pola 600 lub 750 mm. Pola składają się z czterech przedziałów (rys. 3.17):

- szyn zbiorczych,
- członu wysuwanego,
- przyłączeniowego,
- obwodów pomocniczych.

Szyny zbiorcze rozdzielnic RD wykonane są z miedzianych płaskowników, mocowane są do izolatorów przepustowych zainstalowanych na przegrodach blaszanych między celkami. W przedziale członu wysuwanego mogą być stosowane wyłączniki próżniowe typu VD4 lub ECA. Połączenie styków zewnętrznych z szynami zbiorczymi i urządzeniami przedziału przyłączeniowego (położenie pracy) następuje za pośrednictwem izolatorów przepustowo-stykowych. W polach pomiarowych zamiast wyłącznika do przedziału członu wysuwanego wkłada się człon pomiarowy z bezpiecznikami i przekładnikami napięciowymi. We wszystkich położeniach członu ruchomego z wyjątkiem położenia pracy dostęp do styków nieruchomych umieszczonych w izolatorach przepustowo-stykowych uniemożliwiony jest za pomocą ruchomych metalowych przegród. W przedziale przyłączeniowym mogą być zainstalowane urządzenia:

- uziennik wraz z napędem (ręcznym, szybkim sprężynowym lub silnikowym zdalnie sterowanym),
- przekładniki prądowe,
- przekładniki napięciowe,
- przekładniki Ferrantiego,

- główna magistrala uziemiająca,
- oprawa oświetleniowa.



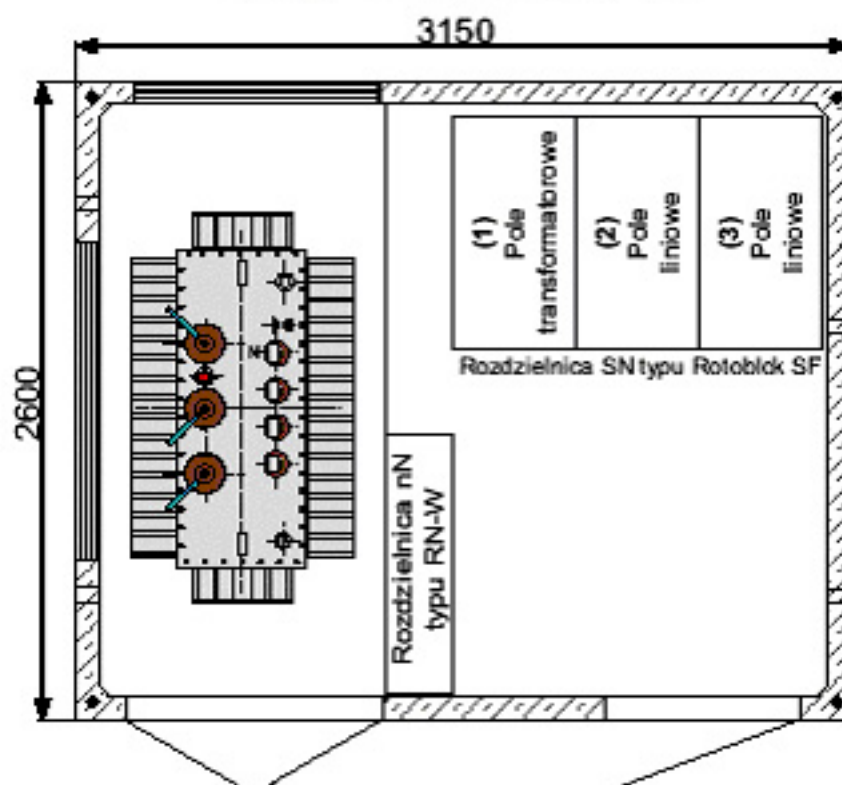
Rys. 3.17. Przekrój pola rozdzielnic D-17P(L)

Na zaciskach przyłączeniowych głowic kablowych stosowane są osłony kuliste zapewniające właściwy rozkład pola elektrycznego. Izolatory wsporcze uziemnika są izolatorami reaktancyjnymi (pojemnościowymi), do których są przyłączone neonowe wskaźniki napięcia umieszczone na drzwiach przedziału obwodów pomocniczych. Do ochrony przed łukiem elektrycznym wszystkie trzy główne przedziały mają w górnej ścianie celki klapy bezpieczeństwa z zamontowanymi pod nimi wyłącznikami krańcowymi przełączającymi swoje styki po czasie 20 ms i powodującymi wyłączenie wyłącznika zasilającego daną sekcję. Może być również zastosowany system szybkiego wyłączenia zwarcia VAMP oparty na czujnikach optycznych wykrywających łuk i działający po czasie 5 ms od momentu powstania zwarcia. W przedziałach obwodów pomocniczych można stosować różne zespoły zabezpieczeń przewidziane przez projektanta. Pola rozdzielni wyposażone są w liczne blokady z możliwością zastosowania blokad dodatkowych zamkowych i elektromechanicznych.

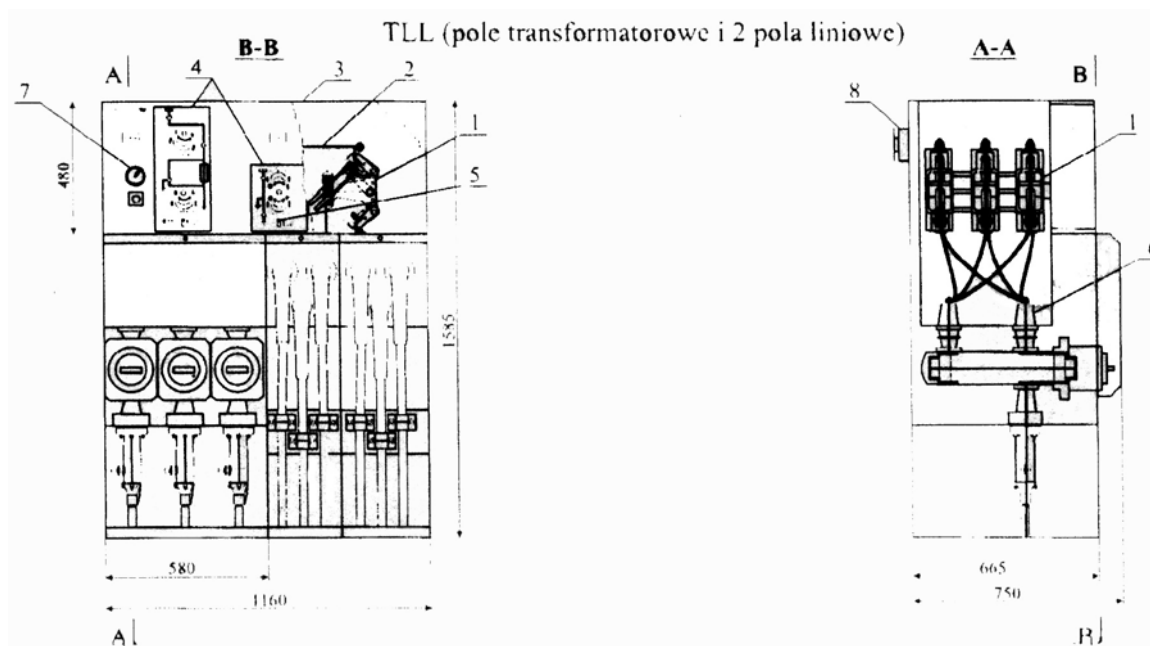
Przykład wewnętrznej miejskiej stacji SN/nN przedstawiony jest na rys. 3.18 i rys. 3.19. Pole transformatorowe rozdzielni SN (15 lub 20 kV) wyposażone jest w rozłącznik izolacyjny z bezpiecznikami. Rozłącznik izolacyjny spełnia rolę odłącznika oraz służy do łączenia prądów obciążenia, bezpiecznik zabezpiecza transformator od zwarć. Przykładem nowej konstrukcji miejskiej stacji transformatorowej o małych wymiarach jest stacja MRW-b1-20/63--3 (rys. 3.19). Jest to stacja kontenerowa składająca się z dwóch zbrojonych odlewów betonowych: ścian bocznych z podłogą i fundamentu. Dach stacji może być wykonany w dwóch wersjach: dwuspadowy z płyty betonowej lub lekki z kształtowników stalowych pokrytych blachą dachówkową. W korytarzu obsługi znajduje się właz do podziemnej części stanowiącej jednocześnie fundament i kanał kablowy. Pod komorą transformatorową przeznaczoną dla transformatora o maksymalnej mocy 630 kVA znajduje się szczelna misa olejowa, która stanowi



MRw-b 20/630-4 "c".

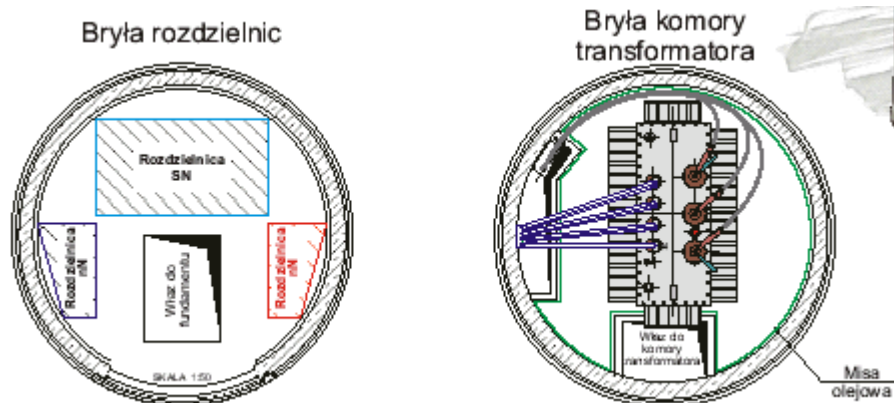
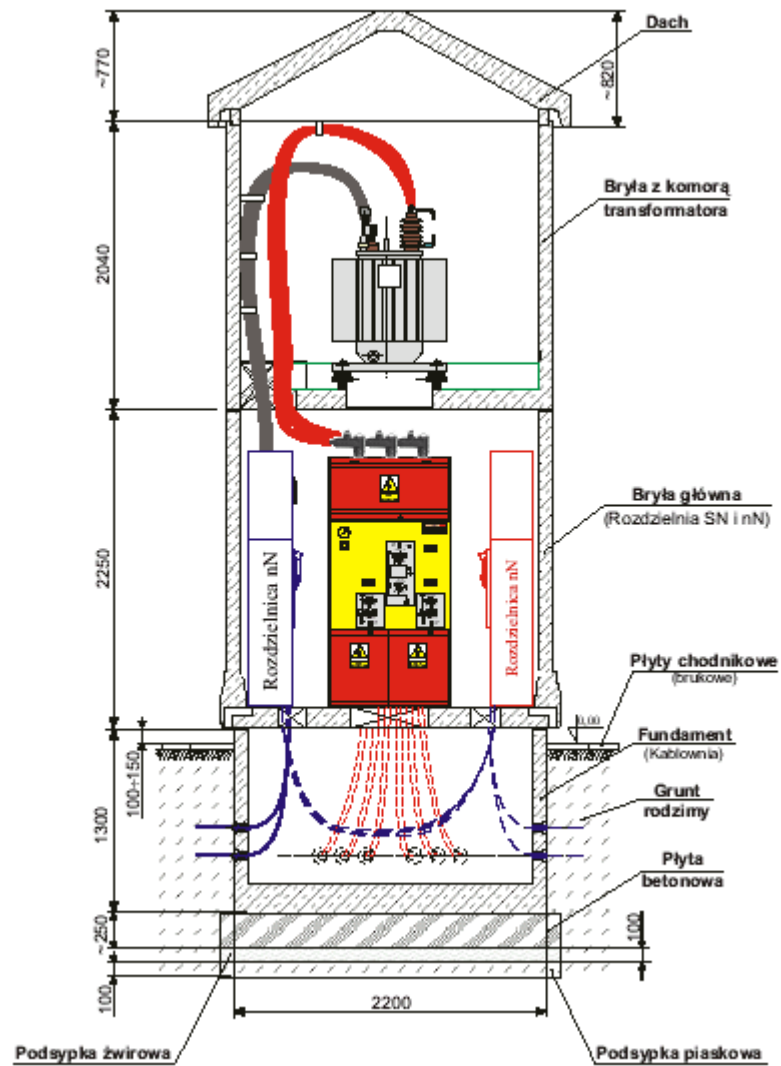


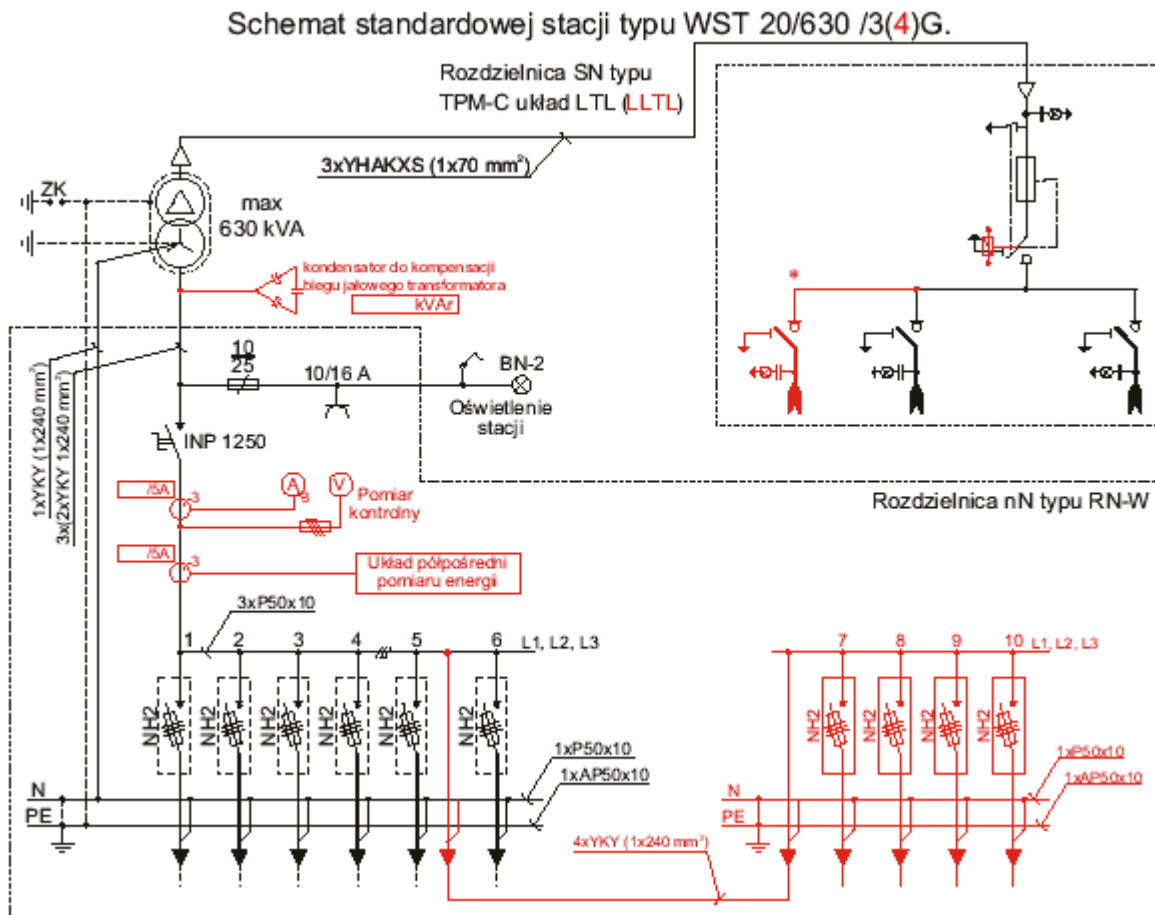
Rys. 3.19. Widok i przekrój wewnętrznej miejskiej stacji SN/nN



Rys. 3.20. Widok rozdzielni TPM-24 (TLL)

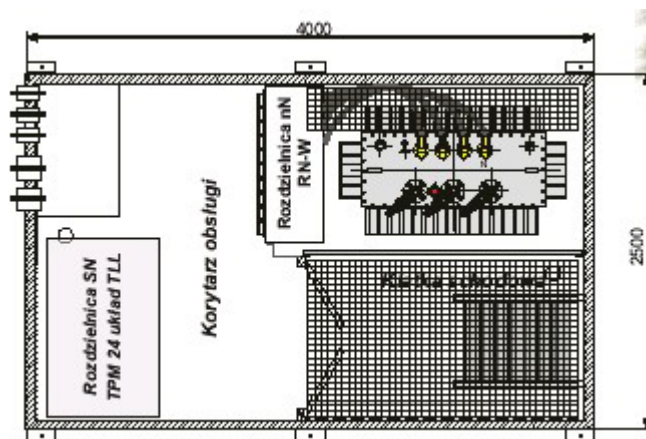
W stacji typu WST 20/630 (rys. 3.19 i rys. 3.20) zastosowano trójpolową rozdzielnicę średniego napięcia wyposażoną w rozłączniki, a w polu transformatora również w bezpieczniki. Konstrukcja rozdzielni jest zupełnie inna, ponieważ zastosowano rozdzielnicę w izolacji SF₆ o małych wymiarach typu TPM 24 lub RM6 (produkcja Merlin Gerin). Podstawowymi aparatami rozdzielni TPM 24 (rys. 3.20) są trójpołożeniowe rozłączniki TH 12 (zaznaczony 1 na rys. 3.18) umieszczone wraz z szynami zbiorczymi (2) w szczelnym zbiorniku (3), wypełnionym gazem SF₆ pod ciśnieniem nieznacznie przewyższającym ciśnienie atmosferyczne (o 0,25 kPa przy temperaturze 20 °C). Rozłącznik wyposażony jest w układ wydmuchowego gaszenia łuku elektrycznego i szybki napęd umożliwiający migowe zamykanie i otwieranie styku głównego i uziemiającego. Napęd umieszczony jest na zewnątrz zbiornika, w przedniej części rozdzielnicy, jest on zintegrowany z systemem blokad, które zapobiegają błędnej czynnością łączeniowym. Rozłącznik i jego napęd są urządzeniami trwałymi, konstrukcja umożliwia wykonanie 5000 cykli roboczych bez konieczności regulacji, konserwacji i wymiany elementów. Pole transformatorowe wyposażone jest w podstawy bezpiecznikowe umieszczone w specjalnych tubach izolacyjnych. Uziemnik, który jest częścią wyposażenia takiego pola po załączeniu uziemienia dwustronnie wkładki bezpiecznikowe. Pola liniowe posiadają blokady (5) uniemożliwiające zdjęcie osłon do części połączeń kablowych, gdy kabel nie jest uziemiony. Izolatory przepustowe (6) przystosowane są do połączenia kabli suchych zakończonych głowicami konektorowymi prostymi w polach transformatorowych oraz kątowymi w polach liniowych. W izolatorach przepustowych (6) wbudowane są również pojemnościowe dzielniki napięcia połączone z neonowymi wskaźnikami napięcia umieszczonymi na ścianie czołowej rozdzielnicy. Manometr (7) na czołowej ścianie rozdzielnicy informuje o prawidłowym ciśnieniu gazu SF₆ wewnątrz rozdzielnicy. Rozdzielnica ma specjalny zawór bezpieczeństwa kierujący sprężone gazy na zewnątrz poprzez tylną ściankę rozdzielnicy. Rozdzielnica niskiego napięcia w polu transformatorowym posiada rozłącznik umożliwiający szybkie wyłączenie całej rozdzielni spod napięcia przy pełnym obciążeniu. Pola odpływowe wyposażone są w rozłączniki i bezpieczniki. Stacja jest bezpieczna przez zapewnienie łukochronności zewnętrznej jak również korytarza obsługi.





Rys. 3.21. Małogabarytowa stacja WST 20/630 w obudowie żelbetowej typu "słup ogłoszeniowy"

Innym przykładem nowej stacji jest małogabarytowa stacja WST 20/630 w obudowie żelbetowej typu "słup ogłoszeniowy" produkcji ZPUE Włoszczowa (rys. 3.21). Dzięki temu, że zajmuje ona małą powierzchnię wynoszącą 3,8 m² i jest przystosowana do malowania i oklejania może ładnie komponować się z otoczeniem. Stacja jest budowlą składającą się z czterech odlewów żelbetowych o przekroju kołowym: fundamentu, bryły głównej z rozdzielnicami SN i nN, bryły z komorą transformatorową oraz dachu. Komora transformatorowa usytuowana nad rozdzielnicami SN i nN ma w podłodze szczelną i zaimpregnowaną misę olejową. Komora jest przeznaczona dla transformatora o maksymalnej mocy 630 kVA. Wentylacja stacji odbywa się przez otwory nawiewowe umieszczone w krawędzi dolnej stacji na obwodzie bryły głównej oraz otwory wywiewowe znajdujące się między dachem a komorą transformatora. Montaż transformatora odbywa się po zdjęciu betonowego dachu stacji. Schemat stacji jest na rys. 3.21., podobny jak stacji PST 20/630, lecz może mieć większą liczbę pól.



Rys. 3.22. Stacja podziemna PST 20/630

Jeszcze innym rozwiązaniem konstrukcyjnym o takim samym wyposażeniu jak dwie poprzednie jest stacja podziemna PST 20/630 (rys. 3.22). Żaden element stacji nie znajduje się nad ziemią, jedynie przykryty kratą pomostową wjazd do stacji i kanał wentylacyjny zrównane są z terenem i przystosowane do ruchu pieszego. Istnieje możliwość wykonania nad wjazdem i kanałem wentylacyjnym daszków z otworami żaluzjowymi w ścianach bocznych. Ściany boczne stacji, sufit oraz podłoga są podwójne, od wewnątrz wykonane z aluminium lakierowanego proszkowo, od zewnątrz ze stali ocynkowanej i malowanej lakierem zabezpieczającym przed solami mineralnymi występującymi w gruncie oraz pokryte masami bitumicznymi. Odpowiednia konstrukcja komory transformatorowej wraz z klatką schodową oraz kanałem wentylacyjnym zapewniają skuteczną i niezawodną wentylację grawitacyjną całej stacji. Wentylacja służy tu również do osuszania wnętrza stacji. Drugim niezwykle ważnym elementem stacji jest układ odwodnienia zrealizowany dzięki wykorzystaniu przestrzeni pomiędzy perforowaną podłogą a dnem stacji. Z tego zbiornika wyprowadzone są dwa króćce zakończone zaworami zwrotnymi mające na celu odprowadzenie

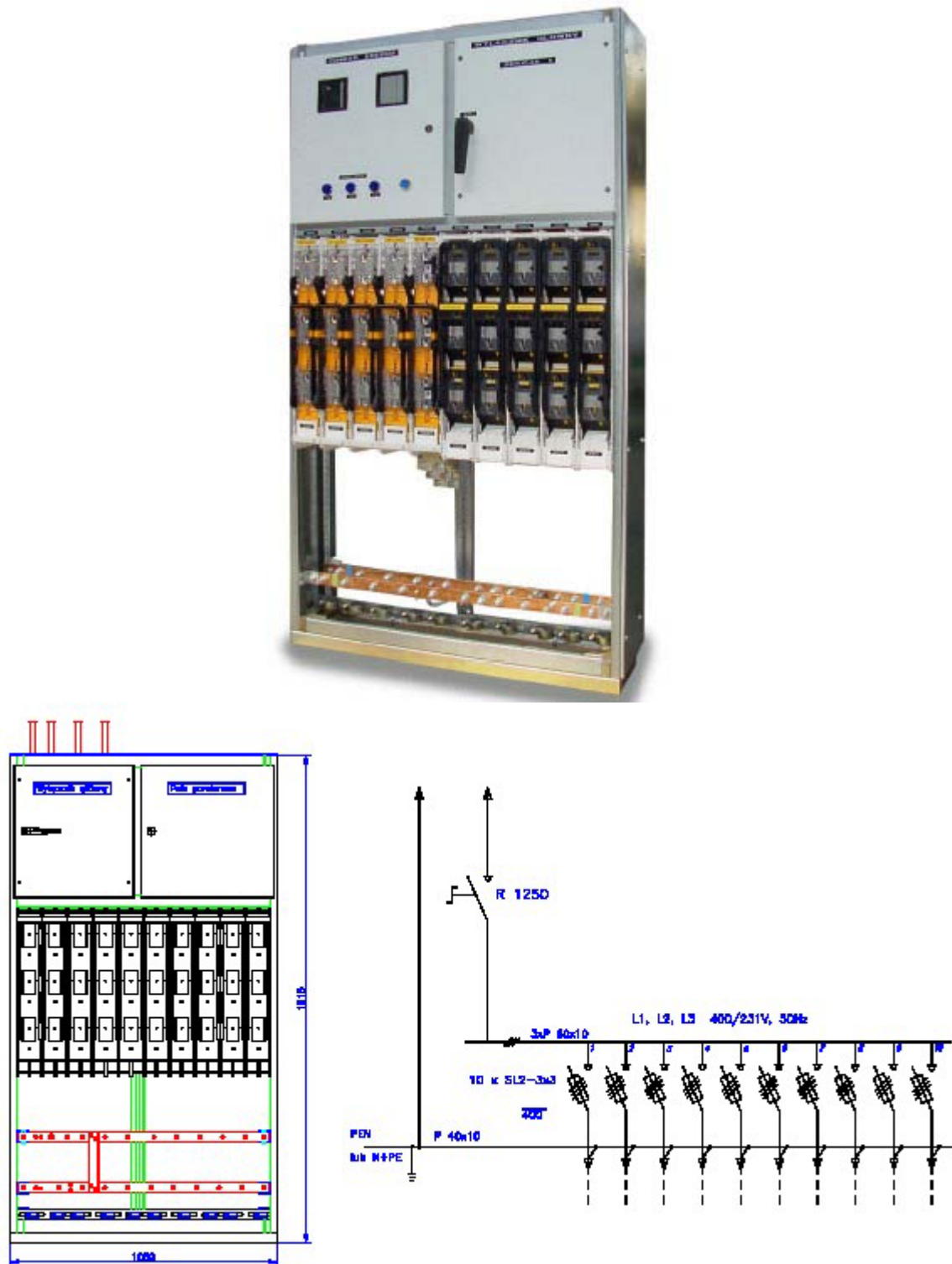
wody deszczowej do kanalizacji miejskiej lub do systemu drenarskiego. Pod komorą transformatorową znajduje się szczelna misa olejowa.

Tablica 3.8. Podstawowe parametry wewnętrznych rozdzielnic średniego napięcia

Typ rozdzielnic	RU ³⁾	WRS	mini-RELS	Rotoblok	D-17P
Napięcie znamionowe, [kV]	20(24)	20(24)	24	24	17,5
Poziom znamionowej izolacji: - napięcie próbne 50 Hz, [kV] - napięcie próbne udarowe, [kV]			50 125		95
Prąd znamionowy ciągły, [A]	2000	1250	800	1250	1600
Prąd znamionowy 1s, [kA]	20		20	20	25
Prąd znamionowy szczytowy, [kA]	50		50	50	63
Liczba członów ¹⁾ , przedziałów			J, 3	J, 3(4)	D, 4
Wymiary pola z wyłącznikiem SxGxH ²⁾ , [cm]	120 (120) x 170(140) x	140 x 165 x 360	75 x 100 x 195	90(1 15) x 115x230	75 x 130 x 215
Powierzchnia pola, [m ²]		2,31	0,75	1,04 (1,32)	0,97
Objętość pola, [m ³]		8,32	1,46	2,4 (3,04)	2,10
Odporność na skutki łuku elektrycznego					25 kA, 0,5 s
¹⁾ podano największą z możliwych wartości prądu zn. szyn zbiorczych i pola z wyłącznikiem, ²⁾ S - szerokość, G - głębokość, H -wysokość wraz z szafką obwodów pomocniczych (przełącznikowa), ³⁾ wymiary w nawiasach dotyczą dolnej części rozdzielnic, ⁴⁾ J - jednoczłonowa. D - dwuczłonowa.					

Pola rozdzielnic SN wyposażone są w izolatory reaktancyjne umożliwiające dokonywanie wskazań obecności napięcia SN za pomocą neonowych wskaźników napięcia, wkładanych w stacjonarne gniazda wtykowe zamontowane na elewacji pola rozdzielnic. We wskaźniki napięcia standardowo wyposażone są pola liniowe, natomiast pole transformatorowe jest wyposażone tylko na specjalne życzenie klienta. W polach liniowych jako wyposażenie dodatkowe mogą być stosowane wskaźniki przepływu prądu zwarcia doziemnego i międzyfazowego.

Na rys 3.23 pokazano widok nowoczesnej rozdzielni niskiego napięcia wyposażonej w rozłączniki z bezpiecznikami.



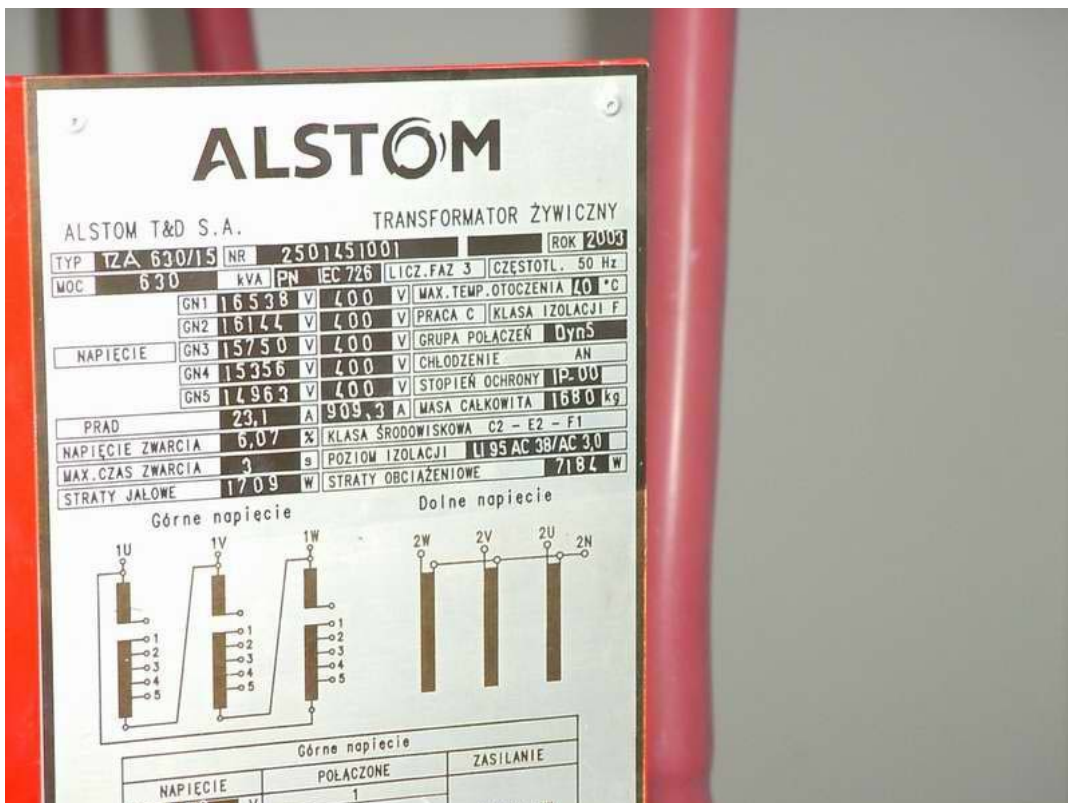
Rys. 3.23. Widok rozdzielni niskiego napięcia

3.6.1. Transformatory suche

Obecnie stosuje się coraz częściej w stacjach wewnątrzowych transformatory suche. Przykładowy widok takiego transformatora jest na rys. 3.24. Zalety takie transformatora to:

- mniejsze zagrożenie pożarowe,
- możliwość ustawienie bliżej odbiorników np. wewnątrz hali produkcyjnej,

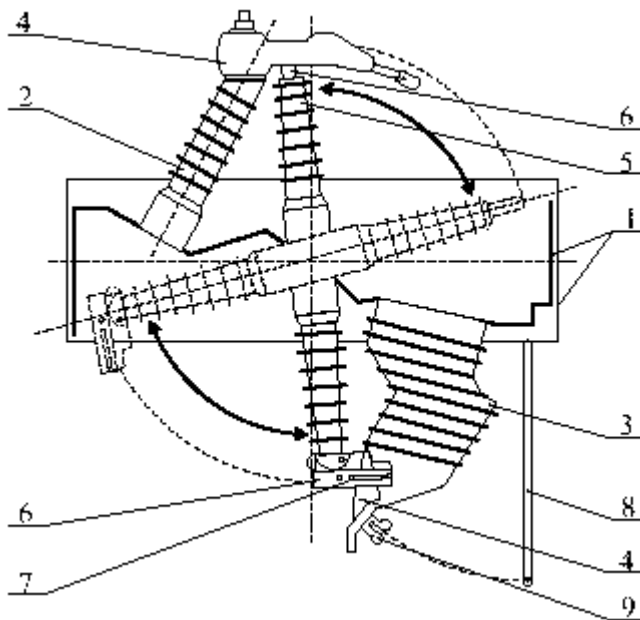
- mniejsze koszty inwestycyjne spowodowane brakiem komory transformatorowej wyposażonej w misę olejową.



Rys. 3.24. Widok transformatora suchego

3.6.2. Odłącznik typu "Rotary"

Podstawowymi elementami każdego pola typu "Rotoblok" jest rozłącznik (AM/GTR 2) lub odłącznik (AS/GTR 4) typu "Rotary". Składa się on z ocynkowanej stalowej ramy (1 - rys. 3.25), w której osadzone są żywiczne izolatory (2 i 3) ze stykami stałymi (4) oraz izolacyjny wał główny (5) ze stykami ruchomymi (6). Dolny izolator stały rozłącznika (3) wykorzystany jest jednocześnie jako cylinder wydmuchowego układu gaszenia łuku elektrycznego. Umieszczone jest w nim opalne gniazdo współpracujące z opalnym stykiem ruchomym (7). Oba te elementy wykonane są ze specjalnych stopów miedzi, wolframu i tytanu, co zapewnia im bardzo wysoką odporność na działanie łuku elektrycznego. Budowa górnego styku stałego umożliwia bezpośrednie połączenie z głównym torem szynowym. Funkcję styków ruchomych pełni wał główny rozłącznika, który stanowią trzy specjalne izolatory przepustowe na stałe ze sobą połączone. W dolnej części aparatu znajduje się uziemnik dolny (8) współpracujący ze stykiem uziemnika (9). Od czoła, bezpośrednio do ramy przykręcony jest mechanizm napędowy rozłącznika i uziemnika - połączony z wałem głównym przy pomocy wielowypustu. Układ dźwigni i sprężyn powoduje bardzo szybkie (migowe) otwieranie i zamykanie rozłącznika. Zintegrowanie wału głównego rozłącznika i mechanizmu napędowego wraz z systemem blokad we wspólnej obudowie - bez konieczności stosowania drążków, wałków czy też innych mechanizmów pośredniczących - gwarantuje dużą pewność działania i trwałość mechaniczną. Budowa odłącznika (AS / GTR 4) różni się od budowy rozłącznika (AM/ GTR 2) tylko tym, iż nie jest on wyposażony w układ wydmuchowego gaszenia łuku elektrycznego, a mechanizm napędowy nie zapewnia migowego otwierania i zamykania odłącznika. Rozłączniki mogą być wyposażone w napędy standardowe lub zasobnikowe - umożliwiające zdalne wyłączenie rozłącznika lub wyłączenie przez wkładkę topikową (stosowany w polach transformatorowych). Mogą być również wyposażone w napędy silnikowe - umożliwiające zdalne sterowanie aparatem, oraz w sygnalizację stanów położenia.



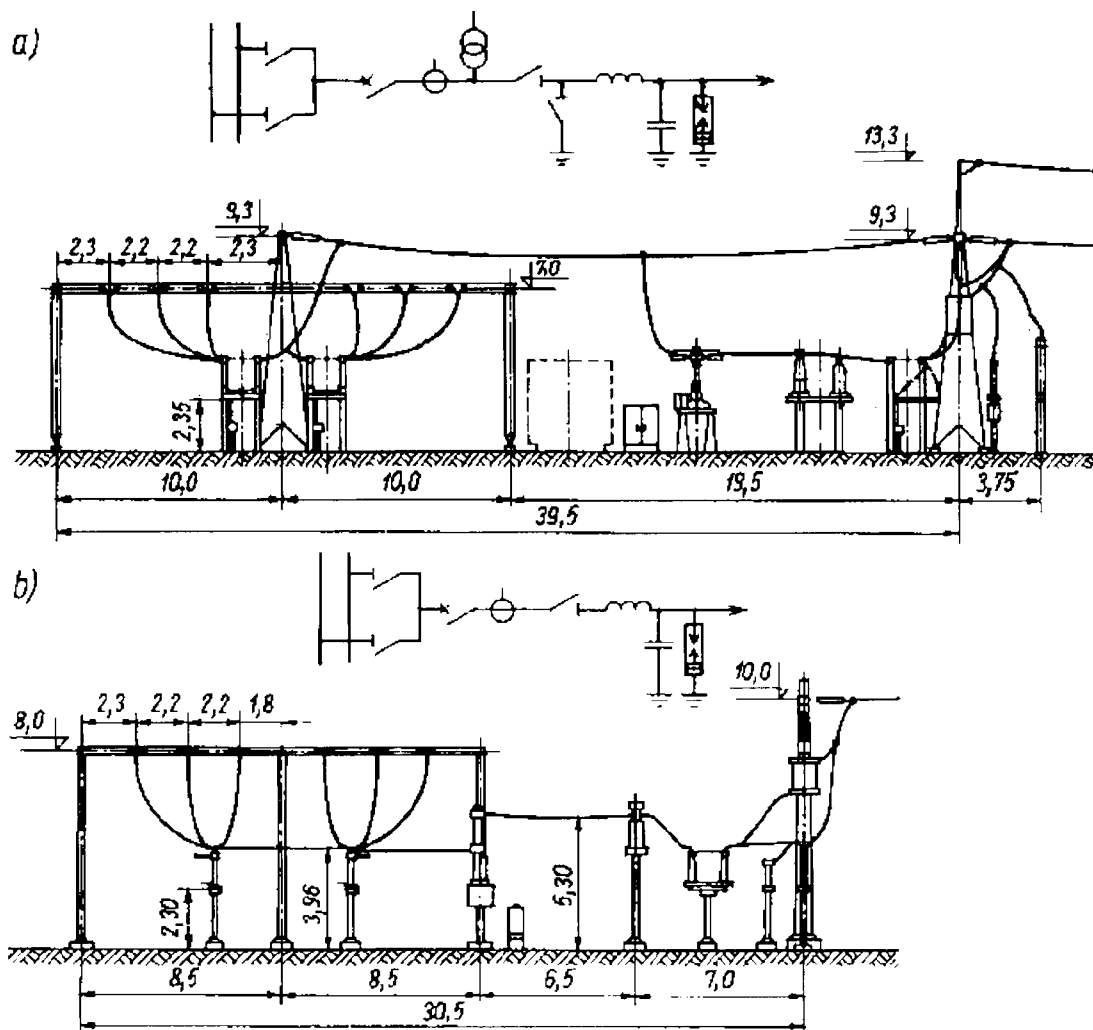
Rys. 3.25. Widok rozłącznika typu "Rotary"

3.7. STACJE NAWIETRZNE WYSOKIEGO NAPIĘCIA

Rozróżnia się dwa zasadnicze rozwiązania konstrukcyjne rozdzielni napowietrznych wysokiego napięcia:

- rozdzielnie wysokie,
- rozdzielnie średnio-wysokie.

Podział ten wynika ze sposobu rozmieszczenia szyn i aparatów. Rozdzielnia wysoka polega na umieszczeniu szyn zbiorczych i odłączników na wysokości 8÷10 m umożliwiając ustawienie pozostałej aparatury (wyłączników, przekładników) pod nimi, dzięki czemu uzyskuje się znaczne ograniczenie powierzchni rozdzielni. W Polsce rozpowszechniły się przede wszystkim rozwiązania rozdzielni średnio-wysokich, w których odłączniki i pozostałe aparaty znajdują się praktycznie na jednakowym poziomie. Rozwiązania takie są tańsze, jeżeli nie uwzględnia się kosztów terenu.



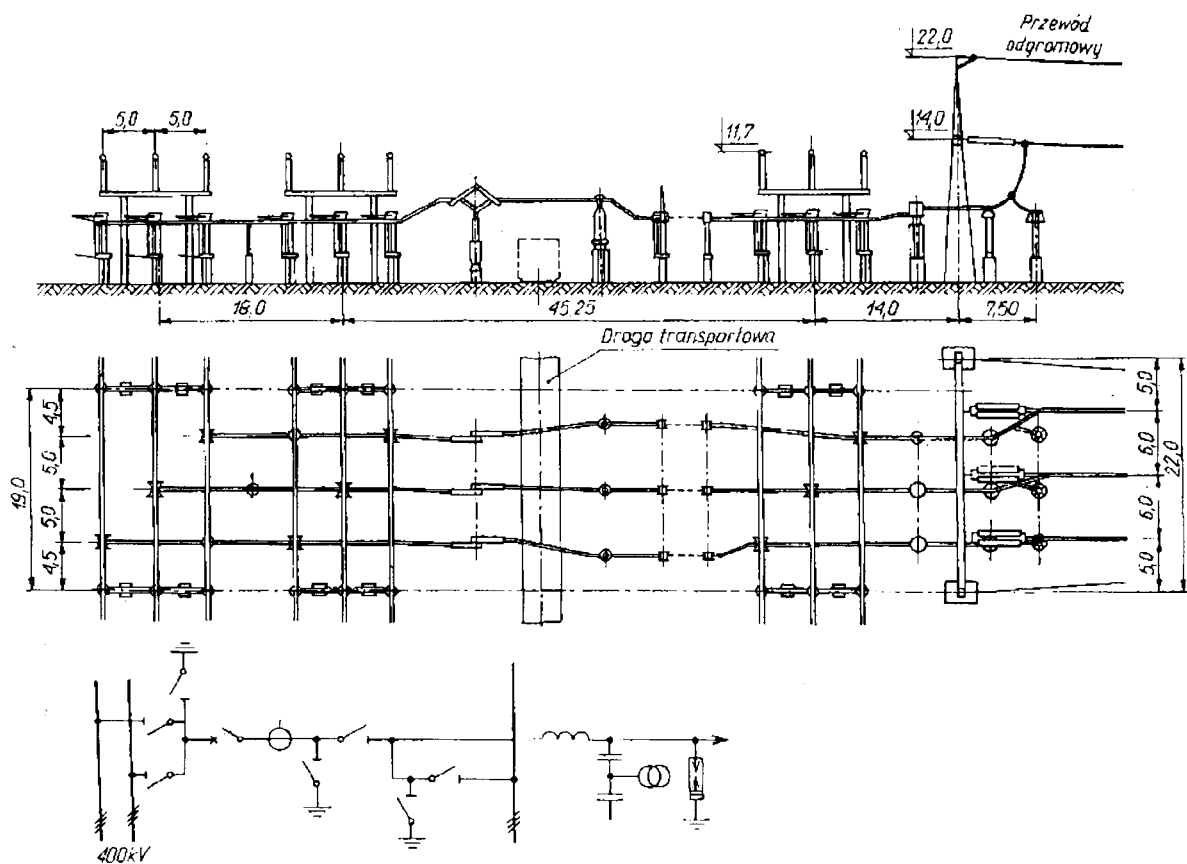
Rys. 3.26. Przekrój pól liniowych rozdzielni 110 kV

- a) w układzie grzebieniowym,
b) w układzie kilowym.

Nr rys. 3.26.a) przedstawione jest pole liniowe rozdzielni średnio-wysokiej w układzie tzw. grzebieniowym. Odłączniki szynowe ustawione są pod szynami zbiorczymi a poszczególne ich bieguny są ustawione równolegle względem siebie i prostopadle względem szyn zbiorczych. Powoduje to konieczność wykonania połączeń między odłącznikami szynowymi a wyłącznikiem

ponad szynami zbiorczymi i jest to tzw. grzebień. Zarówno odłączniki jak również wyłączniki i przekładniki są umieszczone na konstrukcjach uniemożliwiających niezamierzone dotknięcie przez obsługę części będących pod napięciem. Ze względu za duży ciężar wyłączników i przekładników często umieszcza się je nisko a dotknięcie do części pod napięciem uniemożliwia zastosowanie ogrodzeń, najczęściej w postaci poręczy.

Nr rys. 3.26.b) przedstawione jest pole liniowe rozdzielni średnio-wysokiej w układzie tzw. kilowym. Odłączniki szynowe ustawione są pod szynami zbiorczymi a poszczególne ich bieguny są ustawione szeregowo względem siebie i równoległe względem szyn zbiorczych. Dzięki takiemu ustawieniu połączenia między odłącznikami szynowymi a wyłącznikiem mogą być wykonane w prosty sposób bez konieczności budowania specjalnego przęsła nad jednym z systemów szyn zbiorczych, jak to ma miejsce w układzie grzebieniowym. Wadą takiego rozwiązania jest większa podziałka pola niż w układzie grzebieniowym.

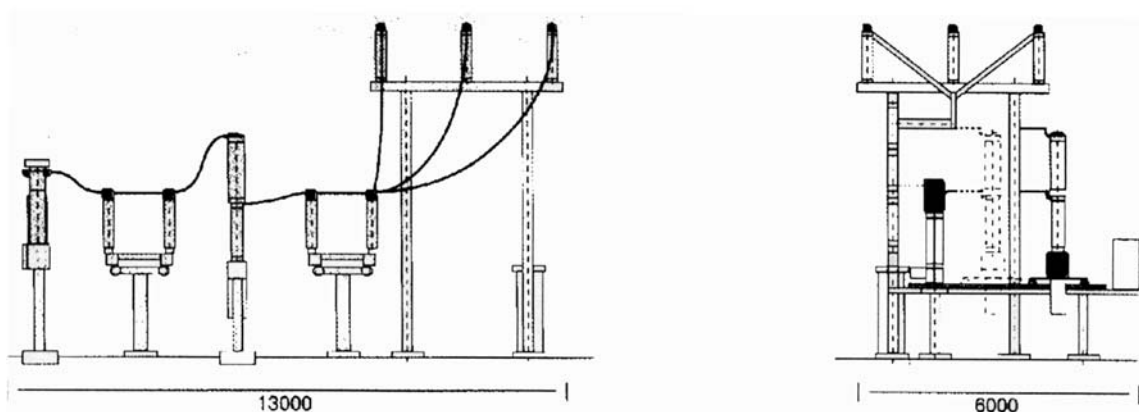


Rys. 3.27. Pole liniowe rozdzielni 400 kV z przewodami rurowymi

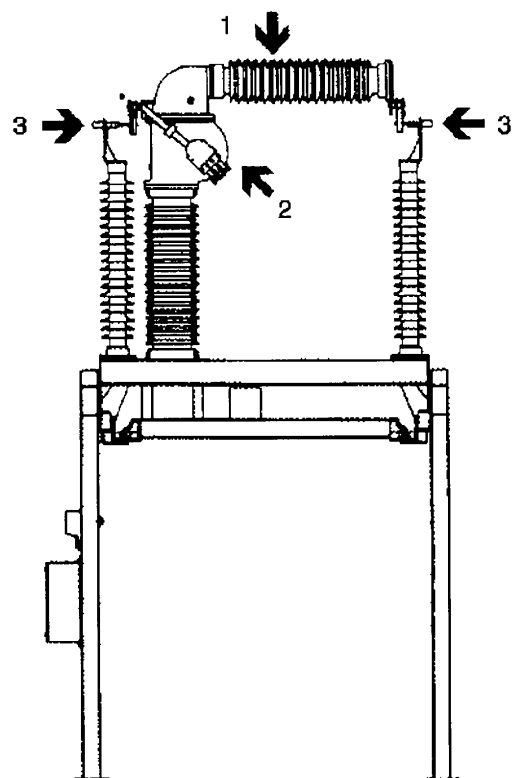
Na rys. 3.27 przedstawione jest pole liniowe rozdzielni 400 kV z oszynowaniem rurowym i z połączeniami między aparatami również rurowymi. W rozdzielni zastosowano odłączniki szynowe półpantografowe z pionową przerwą izolacyjną. Odłączniki szynowe są ustawione w układzie diagonalnym (skośne w stosunku do szyn zbiorczych). Taka konstrukcja ułatwia połączenie odłączników szynowych między sobą i z wyłącznikiem. Takie ustawienie i zastosowanie połączeń rurowych zmniejszyło powierzchnię pola rozdzielni o około 30%. Mimo, że przewody rurowe i ich osprzęt, izolatory wsporcze stojące, sztywne są droższe od linii ich osprzęt i łańcuchów izolatorów wiszących rozdzielnie z przewodami rurowymi są korzystniejsze nie tylko ze względu na mniejszą powierzchnię terenu, mniejsze zużycie materiałów, ale również ze względu

za mniejszą pracochłonność i czas montażu oraz wygodniejszą eksploatację ze względu na mniejszą wysokość.

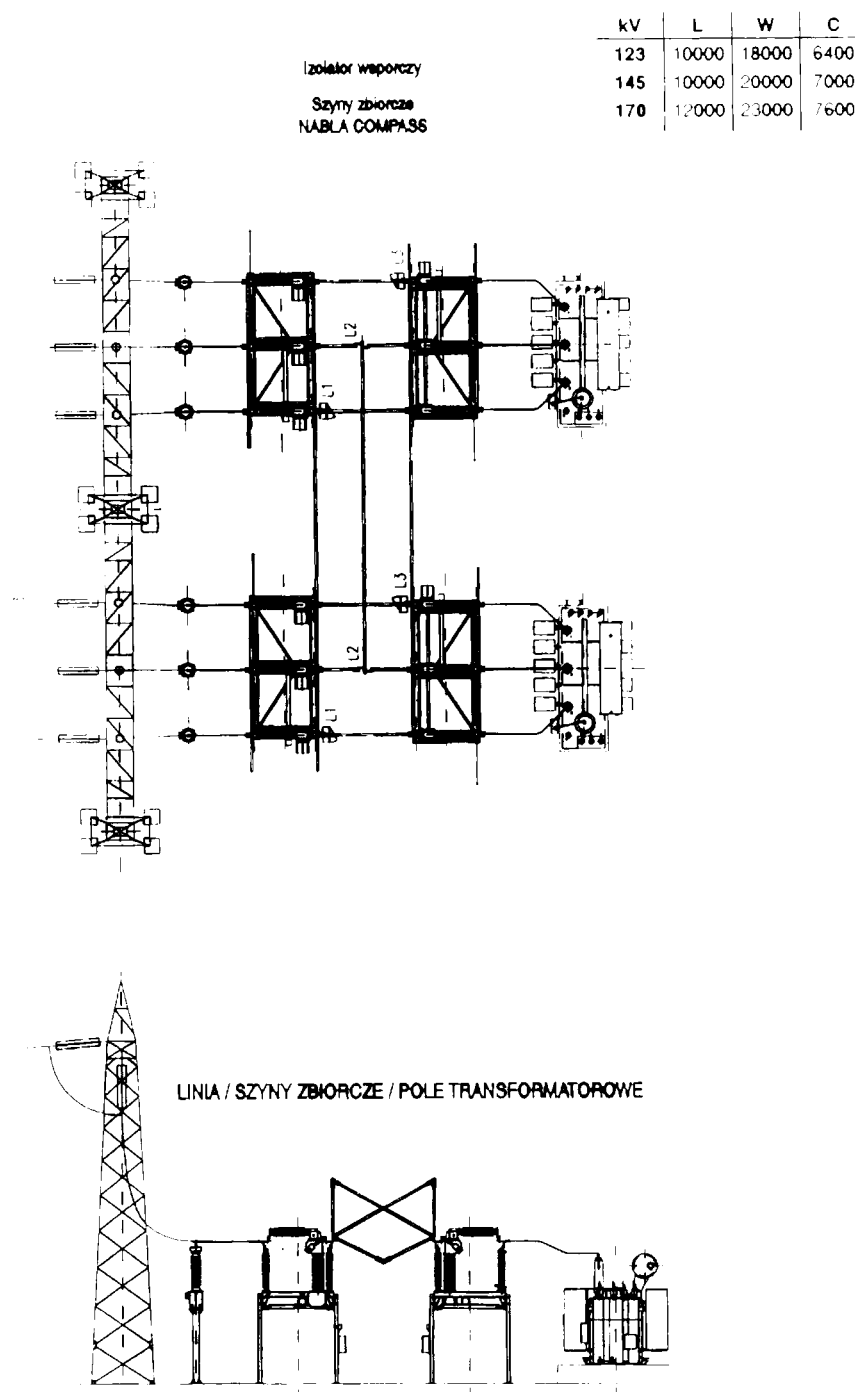
Ciekawym rozwiązaniem charakteryzującym się małą powierzchnią pola, zredukowana do 45 % w stosunku do pola konwencjonalnego jest rozdzielnia 110 kV SIMOVER firmy Siemens. Jest to rozwiązanie z pojedynczym systemem szyn zbiorczych, dwuczłonowa z wyłącznikiem wysuwającym i stykami międzyczłonowymi zastępującymi odłączniki szynowy i liniowy (rys. 3.28). Styki wysuwane wyłącznika łączą się ze stykami stałymi umocowanymi na izolatorach wsporczych i na przekładnikach prądowych. Przesuwanie wyłącznika zrealizowane jest za pomocą zespołu napędowego składającego się z układu łańcuchowego i silnika. Łączenie wyłącznikiem jest możliwe wówczas, gdy zajmie on jedno z położen krańcowych, jazda przy załączonym wyłączniku jest niemożliwa. Rozdzielnia ma również prostą konstrukcję z małą liczbą elementów wsporczych.



Rys. 3.28. Pole liniowe tradycyjne i pole typu SIMOVER



Rys. 3.29. Moduł rozdzielni typu Compass



Rys. 3.30. Stacja w układzie H4 złożona z 4 modułów Compass

Innym jeszcze przykładem nowej konstrukcji rozdzielni jest rozdzielnia firmy ABB typu Compass. Jest to również rozdzielnia dwuczłonowa, przy czym człon ruchomy prócz wyłącznika zawiera także przekładniki prądowe (rys. 3.29). Komora gasząca wyłącznika jest umieszczona poziomo i jest podtrzymywana przez izolator przekładnika prądowego. Uziemniki mogą być zamocowane na jednym lub dwóch izolatorach wsporczych. Ograniczniki przepięć mogą być zainstalowane w miejsce przeciwnych do przekładników izolatorów wsporczych. Moduł może znajdować się w czterech możliwych położeniach:

- praca, moduł wsunięty,

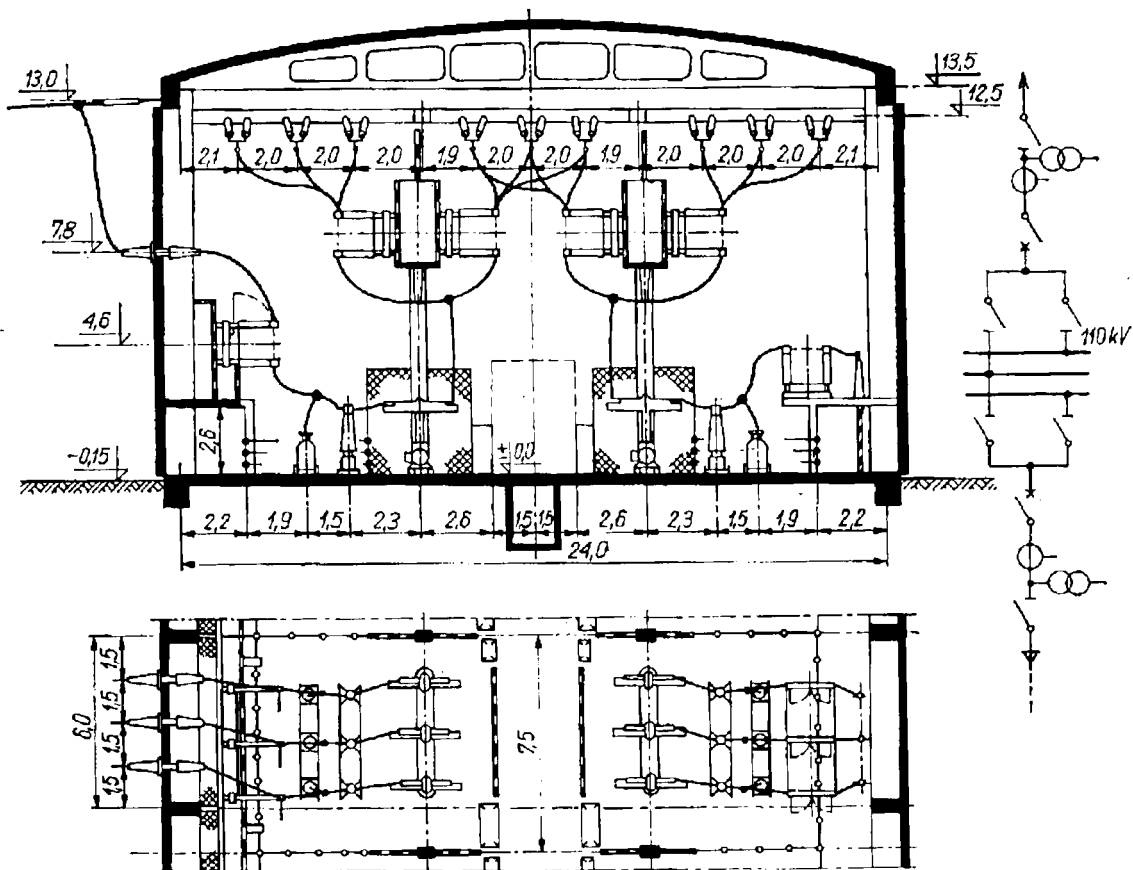
- praca, moduł odłączony przez przesunięcie go o połowę odległości międzybiegunowej w kierunku prostopadłym do płaszczyzny bieguna,
- konserwacja, moduł opuszczony w dół,
- konserwacja, moduł wyciągnięty poza konstrukcję pola.

Na rys. 3.30 przedstawiona jest stacja typu H4 składająca się z 4 modułów Compass i szyn zbiorczych w układzie nabra.

3.8. STACJE WNĘTRZOWE WYSOKIEGO NAPIĘCIA

Stacje wewnętrzne wysokiego napięcia buduje się w miejscach, gdzie nie jest możliwa lokalizacja stacji napowietrznych, ze względu na:

- szczupłość terenu,
- zanieczyszczenia atmosfery,
- trudne warunki środowiskowe (tereny nadmorskie, pustynne itp.),
- walory krajobrazowe terenu.



Rys. 3.31. Rozdzielnia wewnętrzna 110 kV

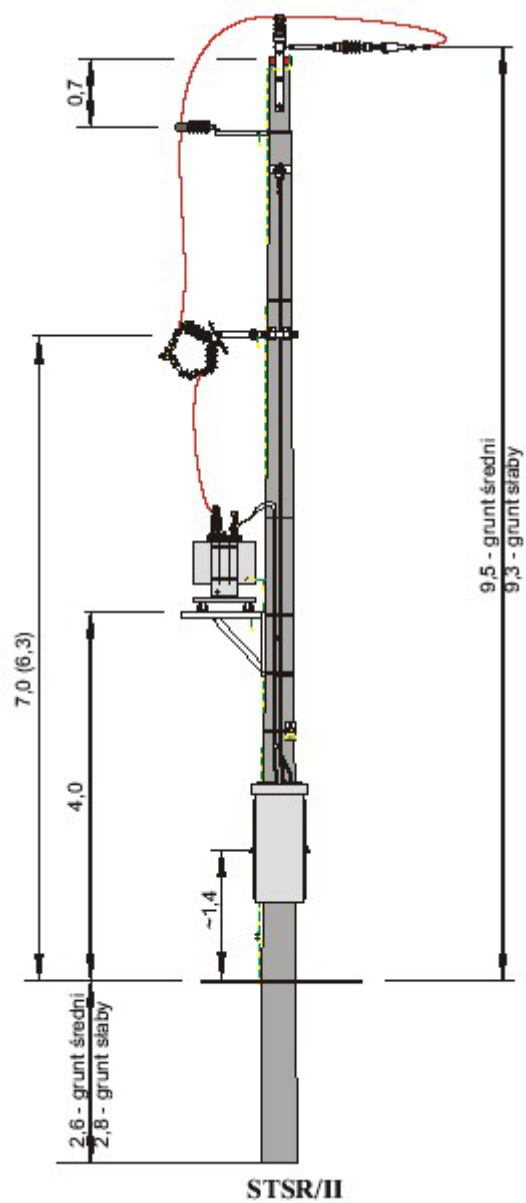
Budynek ma na ogół konstrukcję hali, stąd rozdzielnie takie nazywamy rozdzielniami halowymi. W rozdzielniach 110 i 220 kV stosuje się takie same aparaty, jak w rozdzielniach napowietrznych, ponieważ na te napięcia aparatów w wykonaniu wewnętrznym nie produkuje się. W celu ograniczenia powierzchni rozdzielni lżejsze urządzenia takie jak odłączniki szynowe i liniowe umieszcza się wysoko pod szynami zbiorczymi, a pod nimi na posadce cięższe urządzenia takie, jak wyłączniki czy przekładniki. Ustawienie urządzeń powinno zapewniać wygodną obsługę, dlatego przewiduje się dla urządzeń umieszczonych wysoko specjalne korytarze lub ganki. Mimo

wnętrzowej konstrukcji, w celu ograniczenia zanieczyszczenia izolacji urządzeń często nie przewiduje się okien, lecz specjalną instalację wentylacyjną utrzymującą w hali pewne niewielkie nadciśnienie zapobiegające przedostaniu się pyłu do rozdzielni.

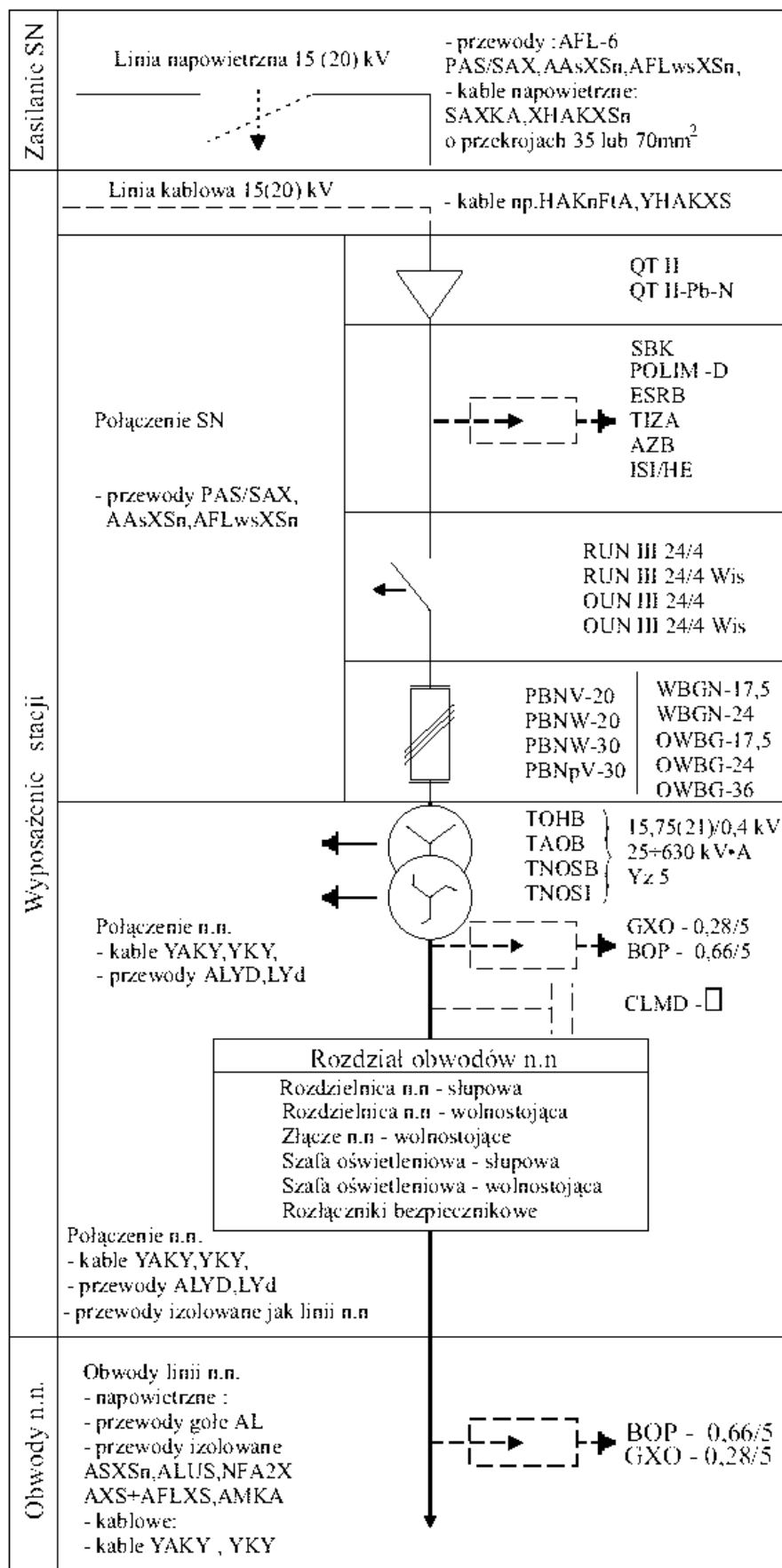
Przykład rozdzielni halowej 110 kV jest na rys. 3.31. Pewnym utrudnieniem w realizacji tej rozdzielni była modułowa konstrukcja hali, w której wymiary są wielokrotnością 3 m, przy jednoczesnej konieczności zastosowania pól o szerokości 7,5 m ze względu na wymiary aparatów. Jest to rozdzielnia dwusystemowa, w której ze względu na lepsze wykorzystanie powierzchni zastosowano jeden z systemów szyn w kształcie litery U. Ustawione na posadzce rozdzielni wyłączniki i przekładniki są odgradzone od korytarzy obsługi ogrodzeniami w postaci poręczy. Między wyłącznikami poszczególnych pól zastosowano wysokie ogrodzenie sitkowe w celu umożliwienia wykonywania prac eksploatacyjnych w polu, podczas gdy sąsiednie pola są pod napięciem.

3.9. NAPIOWIETRZNE STACJE SŁUPOWE

Stacje SN/nN zasilające odbiorców na terenach małych miast, podmiejskich a przede wszystkim na terenach wiejskich przy mocach transformatorów do 630 kVA w większości wykonywane są jako słupowe. Przykład takiej stacji przedstawiają rysunki od 3.32 do 3.40. Konstrukcję nośną stacji stanowi słup lub zestaw słupów z żerdzi strunobetonowej, strunobetonowej wirowanej (np. typu EPV) lub drewnianej. Wytrzymałość żerdzi powinna być 10 lub 12 kNa długość 10,5 lub 12 m. Strona SN o napięciu znamionowym izolacji 24 kV jest przeznaczona dla sieci 15 lub 20 kV. Strona SN wyposażona jest zazwyczaj w odłącznik (czasem z uziemnikiem), ograniczniki przepięć i podstawę bezpiecznikową z bezpiecznikami zabezpieczającymi transformator od zwarć. Rozdzielnia niskiego napięcia zazwyczaj umieszczona jest w szafce poniżej transformatora. Rozdzielnia nN posiada pole zasilające, do 6 pól odpływowych i pole oświetlenia ulicznego z pomiarem energii. Pole zasilające wyposażone jest w rozłącznik z bezpiecznikami służącymi do ochrony transformatora od przeciążeń. Pola odbiorcze wyposażone są jedynie w bezpieczniki.



Rys. 3.32. Słupowa transformatorowa STSR/II



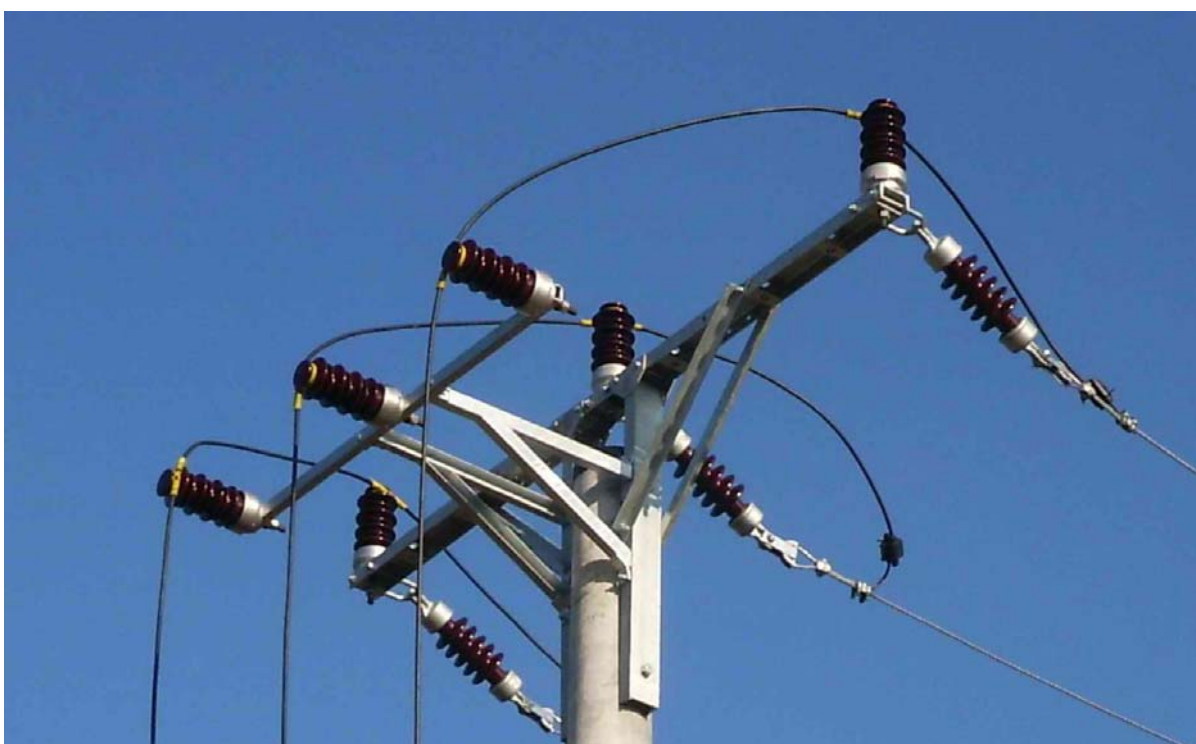
Rys. 3.33. Schemat elektryczny

Tabl. 3.9. Dane techniczne i dobór elementów stacji

1.	Znamionowe napięcie stacji	15/0,4 kV, 20/0,4 kV
2.	Znamionowe napięcie izolacji	24 kV
3.	Rodzaj transformatora	Napowietrzny typu np. TOHb, TAOB, TNOSB, TNOSI
4.	Moc i masa transformatora	STSR-PO □ -20/25 - 25 kVA - 350 kg STSR □ -20/400 - 250-400 kVA - 1500 kg STSRp □ -20/400 - 400 kVA - 2000 kg
5.	Zasilanie stacji SN	Linia napowietrzna o napięciu 15 lub 20 (30) kV; z przewodami: AFL-6 35, 50 lub 70 mm ² , PAS(SAX), AAsXSn, AALXS 35, 50 lub 70 mm ² , Obliczeniowe naprężenia przewodów oraz rozpiętości przeseł wg albumów stacji Linia kablowa o napięciu 15 lub 20 (30)kV z kablami o żyłach Al i Cu
6.	Połączenia SN i nN na stacji	Przewody i kable - dobór wg schematu - str-21 i tablicy str-24
7.	Rozdział obwodów nN	W zależności od potrzeb z zastosowaniem: - rozdzielnic nN, - złączy kablowych nN, - szaf oświetleniowych, - rozłączników napowietrznych nN
8.	Obwody linii nN	Linie napowietrzne z przewodami gołymi AL Linie napowietrzne z przewodami izolowanymi AsXSn Linie kablowe z kablami YAKY, YKY.
9.	Obciążenia statyczne stacji	Dobór wg schematów obciążeń zawartych w albumach
10.	Typy żerdzi	STSR-PO - E i ELV o długości 8,2 ; 10,5 ; 12,0 ; 13,5 m i wytrzymałość - 2,5 ; 3,5 ; 4,3 ; 6,0 kN STSR - STSRp - EPV- 10,5/12 , E - 10,5 / 12 EPV - 12/12 , E-12/12
11.	Izolacja SN	Łańcuchy odciągowe - LO - 20, LO 2-20, z izolatorami LP-60/5u, CS70E24 E24, SPI i ISI-CAN-70EE Zawieszania przelotowe - LWP-20, z izolatorami LWP8-24, LWP8/24R, LWP8-24S, LWP8/24S, R-125N, SDI37, PI-74024 i ISI-RG-P2R
12.	Stopień obostrzeń	0°, 1°, 2°, 3°
13.	Odłączniki i rozłączniki z uziemnikiem SN	RUN III 24/4 , RN III 24/4, RUN III 24/4Wis , RN III 24/4 Wis , RN III 36/4 Wis, OUN III 24/4 , OUN III 24/4 Wis ,OUN III 36/4 Wis, ON III 24/4 , ON III 24/4 Wis ,ON III 36/4 Wis .
14.	Podstawy bezpiecznikowe SN	PBNV-20, PBNW-20, PBNW- 30, PBNpV-30
15.	Głowice kablowe	3M - QT II, QT II-Pb-N
16.	Ograniczniki przepięć SN	POLIM-D, AZB, ESRB, TIZA, ISI/HEB, ISI/HEC.
17.	Ograniczniki przepięć nN	GXO, SE 30
18.	Kondensator nN	MKP, MPP
19.	Rodzaj gruntu	Średni i słaby str - 23
20.	Posadowienie stacji	Ustoje płytowe U ₁ , dobór wg albumów
21.	Strefy klimatyczne	WI, WII obciążenie wiatrem, SI, SII, SIIa, SIIa oraz tereny ze zwiększoną sadzią Wg PN-75/E
22.	Uziemienia stacji	Uziemienie ochronne i robocze wspólne - wykonanie 1 Uziemienie ochronne i robocze oddzielne - wykonanie 2 Uziomy taśmowe i prętowe dla rezystywności gruntu 100, 200, 300, 400 i 500 Ωm.
23.	Konstrukcje stalowe	Cynkowane ogniowo



Rys. 3.34. Stacja transformatorowa słupowa STSR-20/400-12/12/II



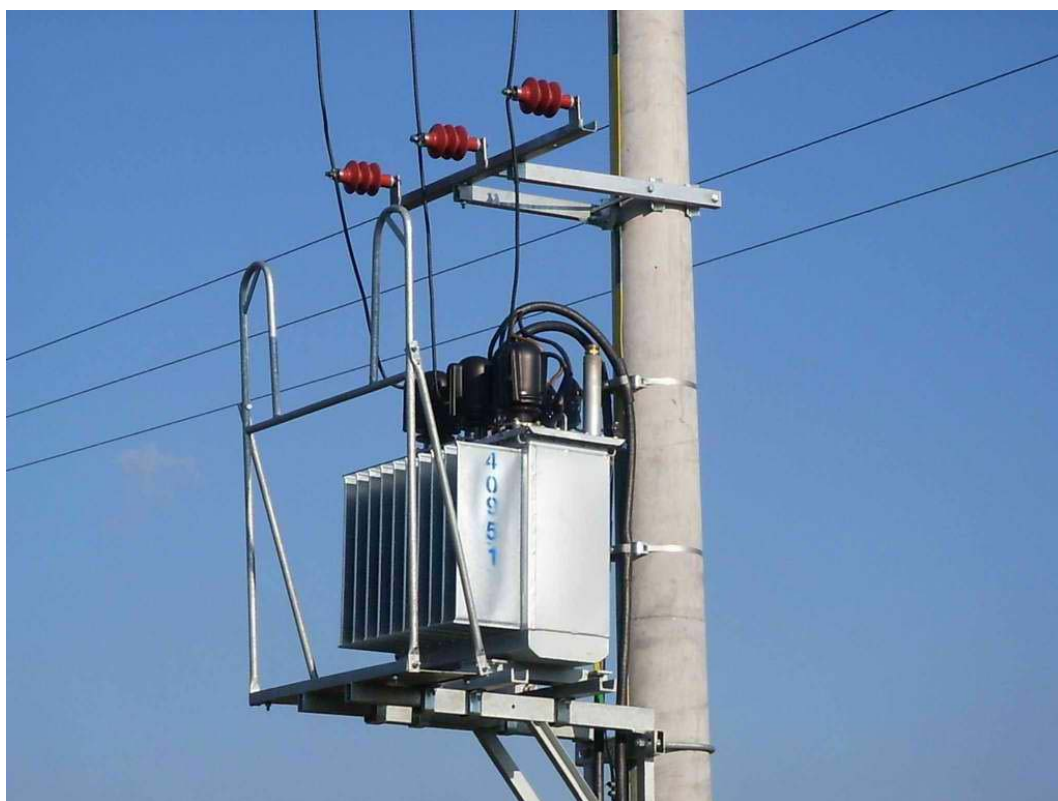
Rys. 3.35. Konstrukcja stacji typu STSR 20/250



Rys. 3.36. Belka nośna podstaw bezpiecznikowych SN



Rys. 3.37. Belka nośna ograniczników przepięć SN



Rys. 3.38. Zastosowanie osłon przeciw ptakom na transformatorze stacji STSR



Rys. 3.39. Bezpieczniki gazowydmuchowe wraz z podstawą bezpiecznikową



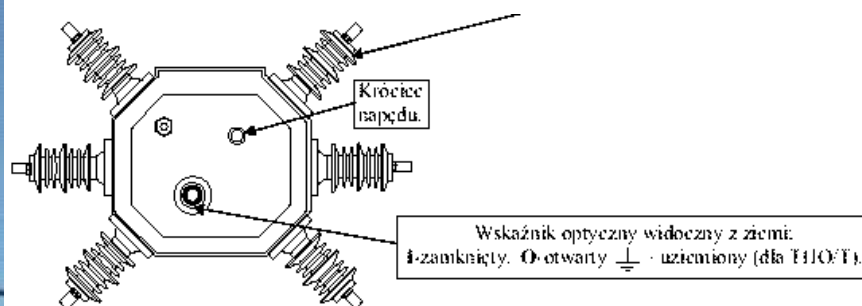
Rys. 3.40. Widok rozdzielnic w stacji STSR

3.10. NAWIETRZNE URZĄDZENIA SŁUPOWE

3.10.1. Napowietrzne rozłączniki średniego napięcia w izolacji SF₆

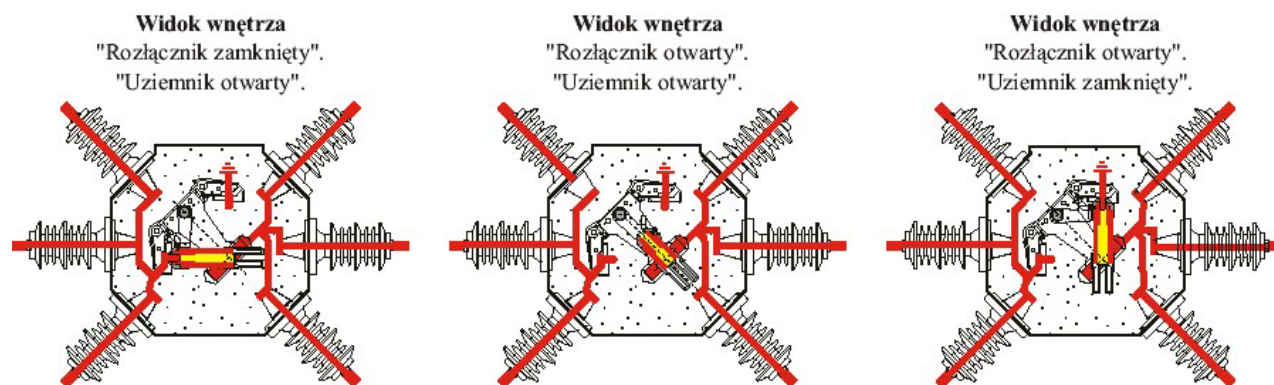
Aparaty typu THO i THO/T przeznaczone są do rozłączania prądów znamionowych do 630 A, oraz uziemiania (THO/T) obwodów w napowietrznych (lub napowietrzno-kablowych) sieciach elektroenergetycznych. Urządzenia te są niezwykle trwałe i niezawodne, gdyż ich

wszystkie elektrycznie aktywne elementy pracują w środowisku SF₆. Dzięki temu nie są one narażone na działanie warunków atmosferycznych (deszczu, śniegu, szadzi, wiatru, itp.), oraz na zanieczyszczenia i uszkodzenia powodowane przez ptaki. W przeciwieństwie do napowietrznych rozłączników w izolacji powietrznej aparaty te gwarantują trwałość 5000 cykli roboczych, bez konieczności wymiany jakichkolwiek elementów (np. komór gaszeniowych, styków migowych, itp.). W połączeniu z nowoczesnym i niezawodnym systemem sterowania i nadzorowania radiowego dają gwarancję kilkudziesięcioletniej pracy bez potrzeby dokonywania kłopotliwych przeglądów, regulacji i konserwacji, co jest szczególnie istotne w rozległych sieciach napowietrznych. Rozłącznik THO wyposażony w przekładniki prądowe umożliwia zastosowanie nowatorskiego systemu lokalizacji miejsc zwarć w sieciach napowietrznych linii SN. Jest to pierwsze tego typu rozwiązanie w Polsce. Dzięki zastosowaniu rozłącznika z w/w wyposażeniem oraz wykorzystaniu telemechaniki możliwe jest dokładne zlokalizowanie miejsca zwarcia (odcinka linii, w którym ono wystąpiło). Komunikat o zwarciu zostaje przekazany za pomocą telemechaniki do systemu nadzorującego pracę sieci, który wyłącza w GPZ-ie z ruchu uszkodzoną linię. Dyspozytor powiadomiony o powstałym zdarzeniu, za pomocą odpowiedniej aplikacji nadzorującej, ma możliwość szybkiego zlokalizowania miejsca zwarcia i o ile istnieje taka możliwość przełączenia pozostałego odcinka linii, nie objętego zwarcie, na zasilanie rezerwowe a następnie powiadomią odpowiedni organ zajmujący się usuwaniem uszkodzeń. Zastosowanie tego innowacyjnego rozwiązania pozwala na znaczne obniżenie kosztów eksploatacji sieci elektroenergetycznej, sprawniejsze i szybsze usuwanie powstałych uszkodzeń a w związku z tym polepszenie jakości przesyłanej i dystrybuowanej energii elektrycznej.



Rys. 3.41. Widok słupa z zainstalowanymi rozłącznikami THO/T i samego rozłącznika

Podstawowym elementem aparatów THO i THO/T jest rozłącznik TH12 zamknięty w szczelnym zbiorniku ze stali nierdzewnej, wypełnionym gazem SF₆. Zbiornik spełnia kryteria szczelności zgodne z normą IEC 56 tzn., że powtórne napełnianie nie jest wymagane podczas normalnego funkcjonowania rozłącznika. Zgodnie z obowiązującymi przepisami dotyczącymi dozoru urządzeń pod ciśnieniem, aparat nie podlega obowiązkowi dozoru. Styki rozłącznika połączone są z izolatorami przepustowymi umożliwiającymi przyłączenie konektorowych, kątowych głowic kablowych lub zamontowanie samoczyszczących izolatorów silikonowych 24 kV, 36 kV i przyłączenie linii napowietrznej.



Rys. 3.42. Rozłącznik THO/T w trzech różnych stanach

3.10.2. Odłączniki napowietrzne SN



Rys. 3.43. Widok odłącznika modułowego

Przedmiotem są trójbiegunowe napowietrzne odłączniki (rozłączniki), odłączniki z uziemnikami czy rozłączniki z uziemnikami. Są to najnowszej generacji aparaty, stosowane w napowietrznych sieciach rozdzielczych 15 i 30 kV. Przeznaczone są do zamykania i otwierania obwodów elektrycznych, a także do uziemienia odłączonych części obwodu. Nowe rozwiązanie napędu ręcznego umożliwia montowanie aparatu w pozycji horyzontalnej lub wertykalnej. Modułowe rozwiązanie biegunów łącznika pozwala na rozbudowanie (nawet już pracujących zestawów) o nowe opcje: uziemnik, styki migowe rozłącznika, stały styk w torze prądowym poprzez dodatkowy izolator lub ogranicznik przepięć. Łączniki typu RN i RUN umożliwią wyłączenie transformatorów do 400 kVA pod pełnym obciążeniem, natomiast łączniki typu ON i OUN pozwalają na dokonywanie czynności łączeniowych w obwodach, w których płyną niewielkie prądy na przykład: biegu jałowego transformatora.

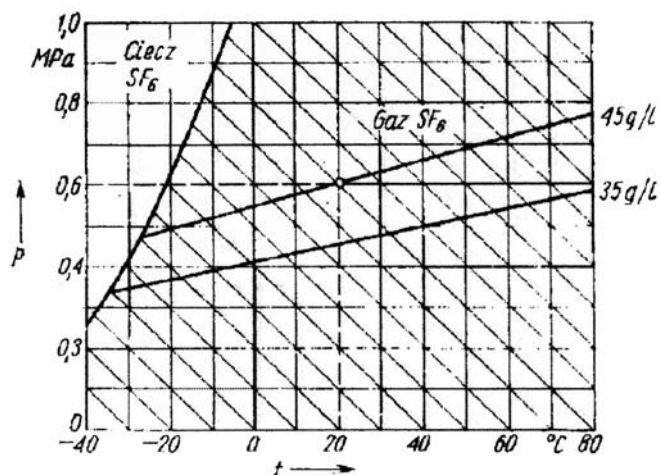
3.11. ROZDZIELNICE OSŁONIĘTE IZOLOWANE SZEŚCIOFLUORKIEM SIARKI

3.11.1. Uzasadnienie wyboru SF₆ do budowy rozdzielnic

Potrzeba radykalnego zmniejszenia rozmiarów rozdzielni halowych wysokiego napięcia skłoniła konstruktorów do poszukiwania rozwiązań, w których zastosowana izolacja pozwoliłaby na znaczne zmniejszenie odstępów izolacyjnych. Próby budowy rozdzielnic osłoniętych na napięcia 110 kV i wyższe z izolacją stałą w postaci żywic nie zdały egzaminu ze względu na duży ciężar i zawodność spowodowaną pękaniem grubych odlewów żywicznych. Rozdzielnice z izolacją olejową były również ciężkie oraz niebezpieczne pod względem wybuchowym i pożarowym. Najbardziej zaawansowane konstrukcyjnie i bliskie powszechnego zastosowania były hermetyczne rozdzielnice z izolacją w postaci sprężonego powietrza. Nie znalazły one jednak powszechnego zastosowania ze względu na konieczność stosowania wysokiego ciśnienia i związaną z tym potrzebę stosowania osłon o wielkiej wytrzymałości mechanicznej. Najmniejsze odstępów izolacyjne można uzyskać w wysokiej próżni. Trudności technologiczne z utrzymaniem wysokiej próżni o ciśnieniu rzędu $10^{-3} \div 10^{-5}$ Pa przez wiele lat w dużej liczbie zbiorników o znacznych rozmiarach ograniczają obecnie możliwość praktycznego zrealizowania tego typu rozdzielni. Rozwój technologii żywic pozwolił na uzyskanie materiału o właściwościach izolacyjnych i mechanicznych pozwalających na skonstruowanie elementów wsporczych izolacyjnych umożliwiających wykorzystanie izolacji gazowej w postaci SF₆ jako izolacji głównej i powszechne stosowanie małogabarytowych hermetycznych rozdzielnic osłoniętych najpierw na wysokie i najwyższe napięcia a później również na napięcia średnie.

Izolacyjne właściwości SF₆ odkryto w 1900 r., gaszące w firmie AEG w 1938 r., w 1957 r. opisano pierwszy wyłącznik z SF₆. Od początku lat 60-tych rozpoczęto intensywne prace nad rozdzielnicami z SF₆. SF₆ jest gazem stabilnym chemicznie, rozpad pod wpływem temperatury zaczyna się dopiero przy około 500 °C (w obecności niektórych metali, a zwłaszcza stopów zawierających krzem rozkład może wystąpić w temperaturze od 180 do 200 °C). SF₆ jest gazem bezbarwnym, nietrującym, bez zapachu i niepalnym. Przeprowadzone doświadczenia ze szczurami umieszczonymi w mieszaninie 80% SF₆ i 20% tlenu wykazały, że po 24 godzinach zwierzęta nie objawiały żadnych zmian fizjologicznych. PN-87/E-29-10 (IEC 376 z 1971 r.) normuje odbiór świeżego gazu SF₆, w normie tej wprowadzono próbę biologiczną, w której myszy są umieszczane na 24 godziny w atmosferze, w której azot z powietrza zastąpiono SF₆. Brak objawów zatrucia u mysz świadczy o braku toksycznych domieszek, które mogłyby się pojawić w czasie produkcji. SF₆ jest jednym z najcięższych znanych gazów, jest 5 razy cięższy od powietrza. Może być transportowany i przechowywany w postaci cieczy a jego punkt krytyczny występuje przy 3,746 MPa i 45,58 °C. Wytrzymałość elektryczna SF₆ przekracza 1,8÷3,0 razy wytrzymałość powietrza, w polu jednorodnym jest ok. 2,4 razy większa. Przy ciśnieniu ok. 0,3 MPa osiąga 75% wytrzymałości oleju izolacyjnego w polu jednorodnym a przy polu niejednorodnym może

wykazywać nawet lepsze niż olej właściwości izolacyjne. Wytrzymałość dielektryczna gazu SF₆ pozostaje stała przy stałej gęstości niezależnie od temperatury, dlatego gęstość a nie ciśnienie determinuje właściwości dielektryczne urządzenia. Pomimo to, ze względu na łatwość pomiaru, ciśnienie gazu przy temperaturze 20 °C jest najczęściej stosowanym parametrem. SF₆ w niskiej temperaturze przy stosunkowo niskim ciśnieniu przechodzi w stan ciekły (rys. 3.24). Jeżeli przy 20 °C ciśnienie wynosi 0,6 MPa to skroplenie nastąpi w temperaturze około -30 °C. Ponieważ w rozdzielniczy nie może nastąpić skroplenie gazu trzeba stosować niezbyt wysokie ciśnienia. Zwykle stosuje się ciśnienia od 0,25 do 0,6 MPa. Zdolność przewodzenia ciepła przez SF₆ jest większa niż powietrza.



Rys. 3.44. Zależność stanu SF₆ od temperatury i ciśnienia

Pod wpływem zwarcia łukowego w rozdzielniczy może pojawić się wiele toksycznych produktów rozpadu gazu. Jeżeli wzrost ciśnienia wewnątrz rozdzielniczy spowoduje wyrwanie membrany ochronnej lub wytopi się otwór w obudowie gaz wydostający się na zewnątrz dodatkowo wchodzi w reakcję z otaczającą atmosferą. Stan poawaryjny z wydostaniem się gazów i jego produktów rozpadu na zewnątrz stanowi największe zagrożenie dla ludzi i wymaga zastosowania właściwej procedury bezpieczeństwa. Powyżej przedstawione właściwości SF₆ oraz inne właściwości rozdzielnic i doświadczenia uzyskane z ich eksploatacji pozwalają na sformułowanie następujących zalet rozdzielnic izolowanych

za pomocą SF₆:

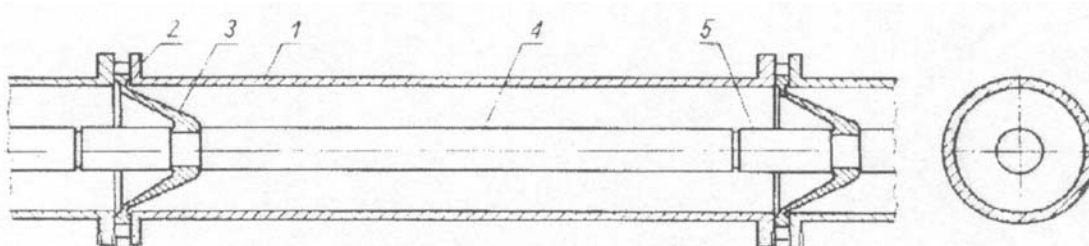
- małe wymiary,
- zwarta budowa,
- znaczne zmniejszenie zużycia materiałów przewodowych, izolacyjnych i konstrukcyjnych,
- łatwość wkomponowania w otoczenie i środowisko, są hermetyczne, niewrażliwe na zabrudzenie i inne wpływy zewnętrzne, eliminują przypadkowy dostęp do napięcia,
- wysoki stopień niezawodności,
- wymagają bardzo niewiele zabiegów eksploatacyjnych, możliwa jest wieloletnia praca bez prac konserwacyjnych remontowych, nawet do 25 lat,
- zapewniają większe bezpieczeństwo obsługi,
- prefabrykowane w wytwórniach i transportowane w gotowych jednostkach umożliwiają szybki montaż w miejscu zainstalowania,
- modułowa budowa umożliwia konfigurowanie rozdzielni o różnych schematach ze stosunkowo niewielkiej liczby modułów,
- niski poziom przepięć łączeniowych.

3.11.2. Zasady budowy rozdzielnic z SF₆

Istota budowy rozdzielni polega na umocowaniu za pomocą izolatorów przegrodowych rurowego przewodu prowadzącego prąd w uziemionej, hermetycznej, wypełnionej SF₆ obudowie wykonanej w postaci rury (rys. 3.25). Obudowy wykonane są z aluminium, ze stopów aluminium lub innych niemagnetycznych stopów metali. Stal byłaby dobrym materiałem na obudowy ze względu na dużą wytrzymałość mechaniczną, odporność na działanie łuku, łatwość uzyskania

szczelności, jednak przy dużych prądach roboczych następowałyby silne nagrzewanie pod wpływem strat spowodowanych prądami wirowymi i zjawiskiem histerezy. Wymiary obudowy i rurowego przewodu wiodącego prąd są tak dobrane, aby uzyskać minimalną wartość natężenia pola elektrycznego, stąd optymalny stosunek średnicy wewnętrznej rury obudowy D do średnicy zewnętrznej przewodu d , który wyraża się zależnością:

$$e = \frac{D}{d} \quad (3.12)$$



Rys. 3.45. Zasada budowy rozdzielni gazowej z izolacją jednofazową, gdzie: 1 - obudowa, 2 - kołnierz obudowy, 3 - izolator przegrodowy, 4 - przewód rurowy, 5 - połączenie wtykowe przewodów

W czasie dalszego rozwoju tego typu rozdzielnic zaczęto stosować rozdzielnice w układzie trójfazowym: trzy bieguny umieszczone w jednej obudowie. Wtedy dobór wymiarów przewodów i obudowy znacznie się skomplikował. Stosowanie wspólnej obudowy dla trzech faz jest korzystne ze względu na:

- mniejsze zużycie materiałów,
- mniejszą powierzchnię rozdzielnicy,
- łatwiejszą konserwację ze względu na prostszy demontaż,
- zmniejszenie liczby członów rozdzielnicy, co prowadzi do większej przejrzystości i mniejszych ubytków gazu ze względu na mniejszą liczbę uszczelnianych połączeń.

Izolacja jednofazowa ma następujące zalety:

- wyklucza zwarcia międzyfazowe,
- powoduje mniejsze siły elektrodynamiczne przy zwarciach,
- stwarza lepsze warunki do uzyskania jednorodnego pola elektrycznego.

Obecnie dla napięć do 170 kV stosuje się prawie wyłącznie rozdzielnice w układzie trójfazowym.

Izolatory przegrodowe produkowane są ze specjalnych tworzyw sztucznych, najczęściej jako odlewy z żywic epoksydowych i mają kształt tarczy lub kielicha. Mocują one przewody i dzielą rozdzielnicę na przedziały gazowe. W razie potrzeby stosuje się również izolatory mające za zadanie jedynie mocowanie przewodów. Kształt izolatora wynika z konieczności kształtowania rozkładu pola elektrycznego dającego największą wytrzymałość układu izolacyjnego szyna-SF₆-izolator-obudowa. Izolatory tarczowe są prostsze w wykonaniu, ale mają gorsze własności izolacyjne i stosuje się je przy niższych napięciach do 145 kV. Poza odpowiednią wytrzymałością elektryczną i mechaniczną izolatory powinny być odporne na produkty rozpadu SF₆. Z tego względu powinny być one montowane przy zachowaniu wyjątkowej czystości.

Poszczególne moduły łączone są za pomocą wtyków kompensujących wydłużenia cieplne i dopuszczających pewne odchylenia od osi. Podział na szczelne przedziały wynika z konieczności ograniczenia zasięgu awarii do stosunkowo niewielkiego elementu rozdzielni. Jednak dzielenie rozdzielnicy na zbyt małe przedziały jest niekorzystne ze względu na zbyt duży wzrost ciśnienia w wypadku zwarcia i zapalenia się łuku. Wszystkie elementy obwodu pierwotnego są umieszczone w SF₆. Należą do nich: szyny zbiorcze, bieguny wyłączników, odłączników, uziemników,

przekładniki prądowe i napięciowe. Wszelkie doprowadzenia do wewnętrznych przestrzeni z gazem mają odpowiednio uszczelnione osłony, dotyczy to zarówno linii kablowych jak i elementów napędów, kabli sterowniczych czy sygnalizacyjnych. Szczelność rozdzielnicy musi być taka, aby nie trzeba było stosować dodatkowych urządzeń utrzymujących odpowiednie ciśnienie SF₆. Do spełnienia tego wymagania wystarczy szczelność zapewniająca ubytki gazu nieprzekraczające 0,5% rocznie, obecnie stosowane urządzenia mają ubytki nie przekraczające 0,2%.

Zwarcie w rozdzielnicy z SF₆ jest mniej prawdopodobne aniżeli w rozdzielnicy otwartej, jednak stanowi zagrożenie dla samej rozdzielnicy jak również dla obsługi. Stosuje się różne środki zaradcze prowadzące do zwiększenia wytrzymałości osłon jak również zabezpieczających przed ich rozerwaniem, a mianowicie:

- zwiększenie objętości przedziałów gazowych,
- zwiększenie grubości ścian obudowy,
- zwiększenie wytrzymałości materiałów osłon,
- skrócenie czasu palenia się łuku przez stosowanie szybkich zabezpieczeń od zwarć i szybko działających uziemników zdolnych do załączania prądów zwarciovych (podczas zwarcia załączamy uziemnik, przez co gasimy łuk),
- stosowanie w obudowie membran spełniających rolę zaworów bezpieczeństwa.

Rozdzielnice z SF₆ buduje się o pojedynczym, podwójnym i potrójnym układzie szyn zbiorczych, z szynami obejściowymi lub bez, w układzie półtorawyłacznikowym lub dwuwyłacznikowym. Mała awaryjność wyłączników i ich duża trwałość łączeniowa oraz mniejsze prawdopodobieństwo zwarć na szynach zbiorczych spowodowały, że w znacznie mniejszym stopniu zachodzi potrzeba stosowania schematów półtorawyłacznikowych lub dwuwyłacznikowych oraz schematów z szynami obejściowymi. Ze względu na niemożliwość stosowania uziemiaczy przenośnych między wszystkimi odłącznikami i wyłącznikami stosuje się uziemniki. Jest ich znacznie więcej niż w rozdzielni konwencjonalnej. Stosuje się dwa typy uziemników: uziemniki o napędzie szybkim, zasobnikowym, zdolne do załączania prądu zwarciovego, oraz uziemniki robocze, zamykane przy pracach remontowych za pomocą napędu ręcznego. W rozdzielnicach stosuje się pełną wzajemną blokadę uzależnienia działania wszystkich łączników.

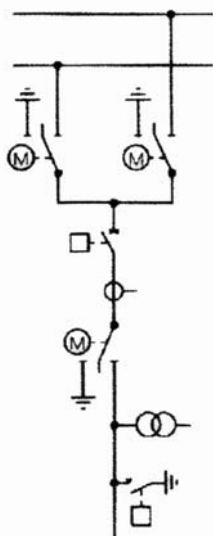
Rozdzielnice z SF₆ szczególnie dobrze nadają się do współpracy z liniami kablowymi. Dla linii napowietrznych trzeba stosować duże i długie przepusty SF₆-powietrze. Ponieważ odstępki izolacyjne w powietrzu są znacznie większe niż w SF₆ występuje zwykle trudność z wyprowadzeniem kilku linii napowietrznych z tych rozdzielni. W przypadku zasilania rozdzielnicy SF₆ liniami napowietrznymi często stosuje się doprowadzenie linii napowietrznej do pierwszego słupa a dalej jest połączenie kablowe. Transformatory, w celu uniknięcia połączeń kablowych należy lokalizować blisko rozdzielni i łączyć przewodami hermetycznie obudowanymi z izolacją gazową SF₆.

3.11.3. Przykłady rozwiązań konstrukcyjnych rozdzielni z SF₆

3.11.3.1. Rozdzielnia typu 8DN8

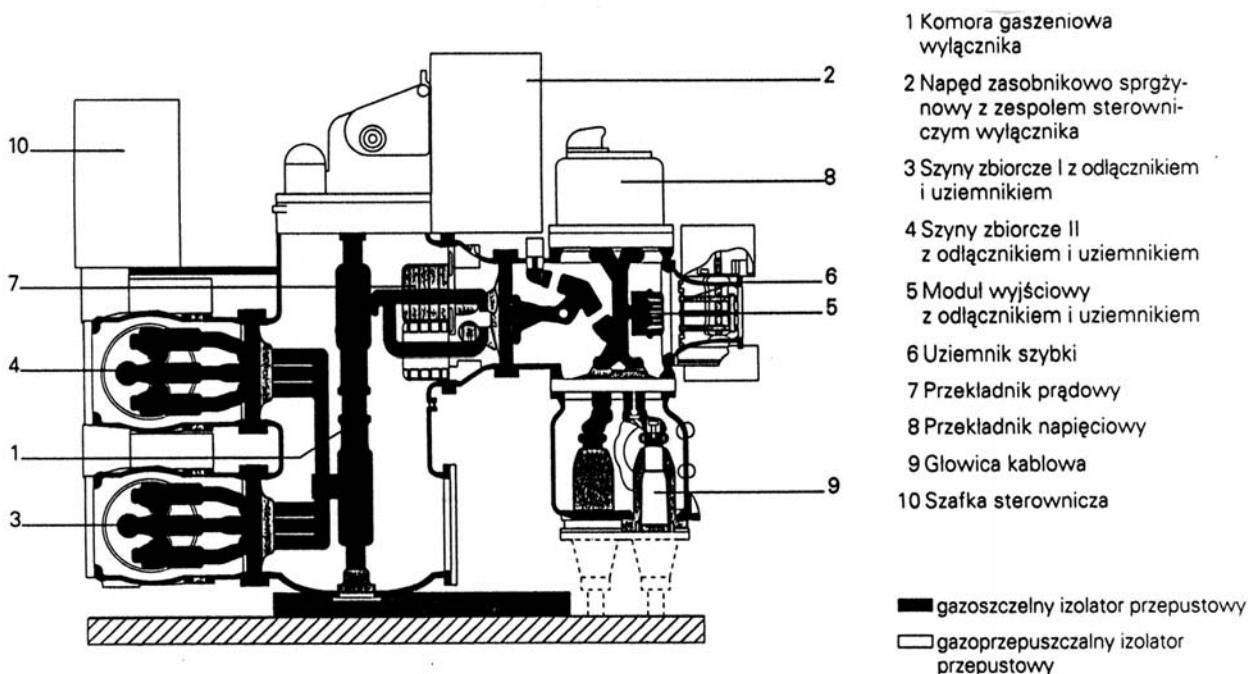
Rozdzielnica 8DN8 firmy Siemens jest przeznaczona na napięcie do 145 kV i w celu osiągnięcia małych wymiarów zastosowano w niej okapturzenie trójfazowe. Zajmuje ona tylko 50% przestrzeni zajmowanej przez okapturzoną jednofazowo rozdzielnię z SF₆ na to samo napięcie. Podziałka pola wynosi tylko 0,8 m. Obudowa wykonana jest z aluminium, dzięki czemu jest ona lekka i nie ulega korozji. Niewielki ciężar pozwala na zastosowanie prostych fundamentów. Poszczególne moduły są łączone kołnierzami z pierścieniami samuszczelniającymi gwarantującymi ich szczelność gazową. Dzięki tej hermetycznej obudowie i automatycznej kontroli rozdzielnia wymaga jedynie nieznacznych zabiegów konserwacyjnych, przeprowadzenie pierwszej rewizji zaleca się po upływie 25 lat. Ze względu na rozszerzalność cieplną obudów przewody

fazowe łączone są za pomocą wielopalcowych styków tulipanowych. Gazoszczelne izolatory przegrodowe dzielą pola na kilka oddzielonych od siebie przedziałów gazowych. Każdy przedział gazowy wyposażony jest we własny system kontroli gazu, własną klapę bezpieczeństwa i filtr pochłaniający wilgoć i produkty rozkładu.

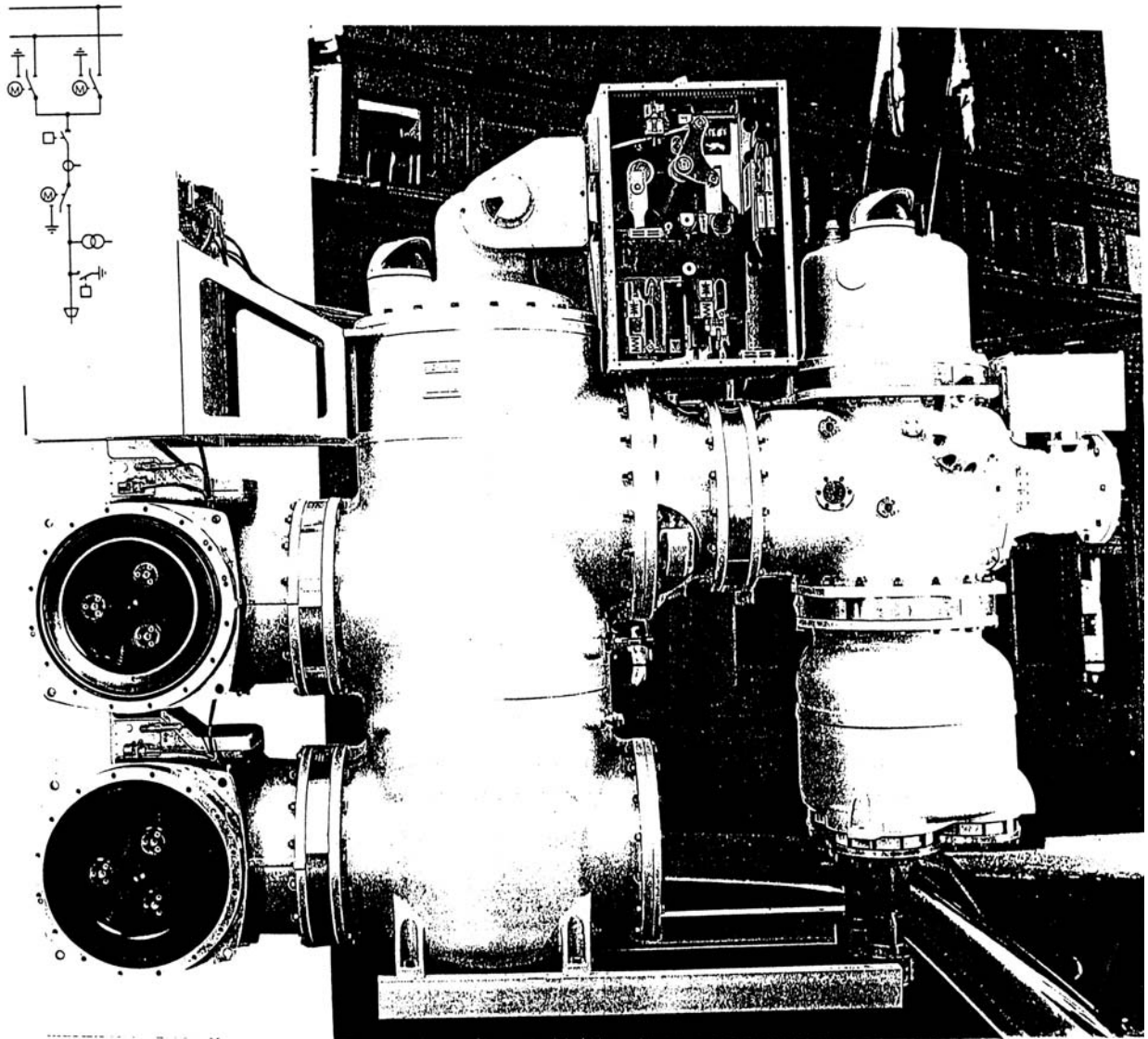


Rys. 3.46. Schemat pola rozdzielni 8BN8

Przedstawione na rys. 3.46, 3.47 i 3.48 pole kablowe składa się z 4 gazoszczelnych przedziałów gazowych: dwóch przedziałów szyn zbiorczych, przedziału wyłącznika i przekładników prądowych oraz z przedziału wyjściowego. Moduł szyn zbiorczych zawiera również łącznik trójpołożeniowy spełniający funkcje odłącznika szynowego i uziennika roboczego. Nad komorami gaszeniowymi wyłącznika znajduje się napęd zasobnikowo-sprężynowy wraz z zespołem sterowniczym wyłącznika. Przedział wyjściowy składa się z modułu łącznika, modułu przekładnika napięciowego, modułu przyłącza kablowego i modułu uziennika szybkiego. Moduł łącznika zawiera trójpołożeniowy łącznik stanowiący kombinację odłącznika liniowego i uziennika roboczego. Przekładnik napięciowy działa na zasadzie dzielnika napięciowego, alternatywnie mogą być zastosowane przekładniki indukcyjne. Do modułu przyłącza kablowego okapturzonego trójfazowo można przyłączyć wszystkie spotykane rodzaje kabli wysokiego napięcia. Uziennik szybki jest wykonany jako trzpieniowy. Styk w formie trzpienia, o potencjale ziemi jest wsuwany do przeciwnego styku tulipanowego. Uziennik szybki jest wyposażony w sprężynowy napęd skokowy napinany silnikiem elektrycznym.



Rys. 3.47. Budowa rozdzielni 8DN8



Rys. 3.48. Widok rozdzielni 8DN8

3.11.3.2. Rozdzielnia Rotoblok SF₆

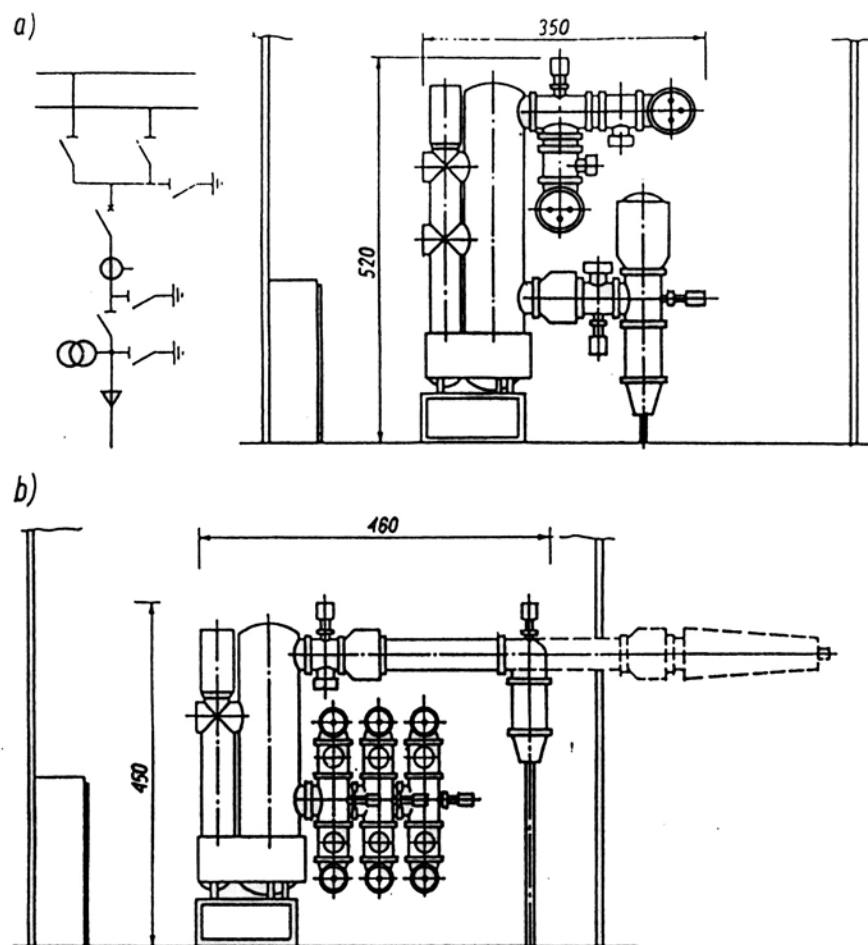
Rotoblok SF₆ jest rozdzielnicą SN typu modułowego. Składa się z pojedynczych pól stanowiących odrębne moduły o niewielkich wymiarach z funkcją specyficzną dla każdego modułu. Każde pole posiada własną obudowę metalową ze zbiornikiem wypełnionym gazem SF₆, w którym znajduje się aparatura łączeniowa. Produkcja jak i testy przeprowadzone na każdym wyprodukowanym polu gwarantują ich działanie w różnych warunkach temperaturowych i ciśnieniowych. Izolacja całkowita rozłącznika jak i uziemnika szybkiego w SF₆ pozwala na zachowanie doskonałego stanu technicznego rozdzielni, zapobiegając zakurzeniu się oraz wytrzymując ewentualne zalanie wodą stacji transformatorowej. Pełna izolacja rozłącznika SF₆ zmniejsza również czynności związane z utrzymaniem rozdzielni i znacząco wpływa na zmniejszenie kosztów eksploatacyjnych. Połączenie poszczególnych modułów rozdzielni realizowane jest w górnej-przyłączeniowej części pól za pomocą trzech szyn zbiorczych montowanych równolegle. System zawiera gamę pól np.: liniowe, transformatorowe, pomiarowe, sprzęgłowe, odgromnikowe, pozwala to na dowolną konfigurację stacji transformatorowych o jednym lub więcej transformatorach. Rozdzielnica może być stosowana w sieci rozdzielczej SN

energetyki zawodowej na napięcie do 24 kV w stacjach transformatorowych SN/nN oraz w średnionapięciowych stacjach odbiorczych lub rozdzielczych.

Pola liniowe oraz transformatorowe rozdzielnic mogą być wyposażony w napęd silnikowy oraz komplet styków sygnalizacyjnych (stanów położenia rozłącznika, oraz stanu gazu SF₆). Mechanizm elektryczny przystosowany jest do współpracy ze wszystkimi systemami sterowania i nadzorowania (drogą radiową, siecią telefoniczną, łączami światłowodowymi itp.). Pola transformatorowe mogą być wyposażone w cewkę wyłączającą, umożliwiającą zdalne wyłączenie pola. Pola rozdzielnic Rotoblok SF oprócz wypełniania określonych funkcji, spełniają wymagania dotyczące bezpieczeństwa montażu i eksploatacji. Ponadto wyposażone są w specjalne okienka inspekcyjne do kontroli temperatury styków. Podstawowe wymiary pól wynoszą: (szerokość/wysokość/głębokość) 500(375)/1950/950 mm. W wykonaniu o głębokości 1050 mm pola zapewniają ochronę w zakresie wyładowań łukowych. Istnieje także możliwość konstrukcji pól rozdzielnic typu Rotoblok SF₆ wyposażonej w wyłączniki SN typu HD4/R prod. ABB (głębokość pól wynosi wtedy 1000 mm).

Podstawowe dane techniczne:

- | | |
|--|-----------------|
| • Napięcie znamionowe | 24 kV |
| • Napięcie probiercze o częstotliwości sieciowej | 50 kV / 60 kV |
| • Częstotliwość znamionowa | 50 Hz |
| • Napięcie probiercze udarowe piorunowe 1,2 / 50 μ s | 125 kV / 145 kV |
| • Prąd znamionowy ciągły | 400 A / 630 A |
| • Prąd znamionowy krótkotrwały wytrzymywany | 12,5 kA / 16 kA |
| • Prąd znamionowy szczytowy wytrzymywany | 31,5 kA / 40 kA |
| • Odporność na działanie łuku wewnętrznego | 12,5 kA (0,5 s) |
| • Stopień ochrony | IP 4X |



Rys. 3.49. Budowa rozdzielni Rotoblok

4. DOBÓR ELEMENTÓW TORÓW GŁÓWNYCH

4.1. DOBÓR MOCY ZNAMIONOWEJ TRANSFORMATORA

4.1.1. Założenia i uproszczenia metody

Transformator można trwale obciążyć stałą mocą znamionową, jeżeli temperatura otoczenia wynosi 20 °C przy zachowaniu pozostałych warunków pracy określonych w normie PN-EN 60076-1 Transformatory. Wymagania ogólne [85]. Warunki te to:

- wysokość n.p.m. ≤ 1000 m,
- kształt napięcia zbliżony do sinusoidalnego,
- symetria trójfazowego napięcia zasilającego,
- odpowiednio niski stopień zanieczyszczeń,
- nie występują zakłócenia sejsmiczne.

W tych warunkach zostanie zachowana trwałość termiczna izolacji, która wynosi 25 lat przy stałej temperaturze najgorętszego miejsca uzwojenia wynoszącej 98 °C. W rzeczywistości obciążenie prawie nigdy nie jest stałe i najczęściej zmienia się w cyklu dobowym, a temperatura otoczenia odbiega od wartości 20 °C. Wskazówki, o jakiej mocy znamionowej wybrać transformator dla przewidywanego obciążenia dobowego i przewidywanej temperatury otoczenia zawiera norma PN-IEC 60354 Przewodnik obciążenia transformatorów olejowych [110] zwana dalej przewodnikiem. Dotyczy ona transformatorów olejowych wykonanych zgodnie z normą IEC 76, czyli z normą [85].

W transformatorze skutki wzrostu obciążenia to zwiększone temperatury elementów transformatora a co za tym idzie skrócenie czasu życia transformatora. Dodatkowe skutki są następujące:

- wzrasta indukcja strumienia rozproszenia na zewnątrz rdzenia, powodując dodatkowe nagrzewanie się przez prądy wirowe metalowych części przenikanych przez ten strumień,
- zwiększony strumień rozproszenia powiększa strumień całkowity w rdzeniu zmniejszając zakres regulacyjny transformatora,
- ze zmianą temperatury zmienia się zawartość wody i gazów w izolacji stałej i oleju,
- zwiększają się siły zwarciove,
- zwiększa się objętość izolacji naprężanej elektrycznie,
- trudniej jest prawidłowo określić temperatury najgorętszych miejsc.

Zjawiska cieplne w transformatorze zależą od jego budowy trudno jest wobec tego opracować wspólną metodę określającą nawet w przybliżeniu skutki cieplne wywołane obciążeniem dla wszystkich transformatorów. Ponieważ wrażliwość transformatora na obciążenie mocą większą niż znamionowa zależy zazwyczaj od jego wielkości przewodnik dzieli transformatory na trzy grupy:

- transformatory rozdzielcze,
- transformatory średniej mocy,
- transformatory dużej mocy.

Transformatory rozdzielcze to transformatory trójfazowe o:

- mocy znamionowej nie większej niż 2500 kVA,
- znamionowym napięciu górnym nie wyższym niż 33 kV,
- z oddzielnymi uzwojeniami zmniejszającymi napięcie do wartości użytkowej,
- z chłodzeniem typu ON (olejowe naturalne),
- bez regulacji przekładni pod obciążeniem.

Transformatory średniej mocy to transformatory trójfazowe:

- z oddzielnymi uzwojeniami o mocy znamionowej nie większej niż 100 MVA,

- z powodu ograniczeń dla strumienia rozproszenia to o znamionowej impedancji zwarcia nie większej niż:

$$Z_r = \left(25 - 0,1 \cdot \frac{3 \cdot S_r}{W} \right) \quad [\%] \quad (4.1)$$

gdzie:

- W - liczba uzwojonych kolumn,
- S_r - moc znamionowa w [MVA].

Transformatory dużej mocy to transformatory trójfazowe:

- o mocy znamionowej większej niż 100 MVA,
- impedancji zwarcia większej niż podana powyżej.

Przewodnik rozróżnia trzy rodzaje obciążenia:

- normalne obciążenie cykliczne,
- długotrwałe awaryjne obciążenie cykliczne,
- krótkotrwałe obciążenie awaryjne.

Normalne obciążenie cykliczne jest to zmieniające się obciążenie w cyklu dobowym w taki sposób, że w części doby obciążenie jest wyższe niż znamionowe lub temperatura otoczenia jest wyższa niż normalna - obciążenie to jest równoważne obciążeniu znamionowemu w normalnej temperaturze otoczenia, dzięki temu, że w pozostałej części cyklu występuje niska temperatura otoczenia lub mały prąd obciążenia.

Tabl. 4.1. Graniczne prądy i temperatury przy obciążeniach większych niż-znamionowe

Typ obciążenia	Transformatory rozdzielcze	Transformatory średniej mocy	Transformatory dużej mocy
Normalne obciążenie cykliczne			
Prąd [jw.]	1,5	1,5	1,3
Temperatura najgorętszego miejsca i metalowych części stykających się z materiałami izolacyjnymi [°C]	140	140	120
Temperatura górnej warstwy oleju [°C]	105	105	105
Długotrwałe awaryjne obciążenie cykliczne			
Prąd [jw.]	1,8	1,5	1,3
Temperatura najgorętszego miejsca i metalowych części stykających się z materiałami izolacyjnymi [°C]	150	140	130
Temperatura górnej warstwy oleju [°C]	115	115	115
Krótkotrwałe obciążenie awaryjne			
Prąd [jw.]	2,0	1,8	1,5
Temperatura najgorętszego miejsca i metalowych części stykających się z materiałami izolacyjnymi [°C]	według 1.5.2 [110]	160	160
Temperatura górnej warstwy oleju [°C]	według 1.5.2 [110]	115	115
Uwaga: jw. - jednostka względna.			

Długotrwałe awaryjne obciążenie cykliczne jest to obciążenie spowodowane długotrwałym brakiem niektórych elementów sieci, które nie zostaną dołączone przed osiągnięciem w transformatorze ustalonego przyrostu temperatury. Nie jest to normalny stan pracy i uważa się, że występuje on rzadko, lecz może trwać tygodniami, a nawet miesiącami i prowadzić do znacznego

zestarzenia się izolacji. Jednak nie powinien on być przyczyną przebicia izolacji wskutek cieplnej degradacji lub zmniejszenia wytrzymałości elektrycznej izolacji.

Krótkotrwałe obciążenie awaryjne jest to wyjątkowo duże obciążenie wynikające z zaistnienia jednego lub kilku wydarzeń poważnie zakłócających pracę sieci, powodujące osiągnięcie przez najgorętsze miejsce przewodu niebezpiecznego poziomu mogącego chwilowo zmniejszyć wytrzymałość elektryczną. Obciążenie powinno być szybko zmniejszone lub transformator wyłączony w krótkim czasie, zwykle krótszym niż pół godziny. Ten typ obciążenia występuje rzadko.

Przy obciążeniu większym niż znamionowe zaleca się nie przekraczać wartości granicznych podanych w tabl. 4.1. Ponadto należy pamiętać o innych ograniczeniach związanych z:

- innymi częściami transformatora, takimi jak przepusty, przyłącza kabli, przełączniki zaczepek,
- rozszerzaniem się oleju i wzrostem jego ciśnienia,
- ustawieniem transformatora w pomieszczeniu,
- wiatrem, słońcem i deszczem przy ustawieniu zewnętrznym,
- napięciem, które dla każdego uzwojenia nie powinno przekraczać napięcia znamionowego o 5%.
- w czasie trwania obciążenia większego niż znamionowe, lub bezpośrednio po nim, transformatory mogą nie spełnić warunków zwarciowej wytrzymałości cieplnej transformatora opartej w normie [87] na dwusekundowym czasie trwania zwarcia. W praktyce prądy zwarcia trwają krócej niż 2 s.

4.1.2. Obliczanie temperatur transformatora

4.1.2.1. Założenia

W przewodniku przedstawiono metodę pozwalającą obliczyć temperaturę najgorętszego miejsca uzwojenia i zużycie czasu życia transformatora. W załączniku nr 1 przedstawiono wyniki obliczeń w postaci wykresów obciążeń dla różnych typów transformatorów, których cieplne charakterystyki nie odbiegają od przedstawionych w tabl. 4.2. Wykresy i tablice wyprowadzono przy następujących uproszczeniach:

- Temperatura oleju wewnątrz uzwojeń narasta liniowo od dołu do góry niezależnie od rodzaju chłodzenia,
- Przyrost temperatury przewodu wzrasta liniowo, równoległe do temperatury oleju. Różnica g między tymi temperaturami jest stała.
- Przyrost temperatury najgorętszego miejsca jest większy niż przyrost temperatury przewodu w górze uzwojenia, ponieważ należy uwzględnić wzrost temperatury wynikający ze zwiększonych strat od strumienia rozproszenia. Przyjęto, że różnica temperatury wynosi Hg , przy czym H jest stałym współczynnikiem zależnym od transformatora.
- Dobowy przebieg obciążenia został zastąpiony uproszczonym wykresem dwustopniowym,
- Charakterystyki cieplne transformatora podano w tabl. 4.2,
- Temperatura otoczenia została przyjęta jako stała w ciągu doby.

Symbole charakteryzujące sposób chłodzenia transformatora składają się z czterech liter, których znaczenie jest następujące:

1. Pierwsza litera (oznacza wewnętrzny czynnik chłodzący stykający się z uzwojeniem):

- O - olej mineralny lub syntetyczne ciecze izolacyjne o punkcie zapłonu mniejszym lub równym 300°C ,
- K - ciecz izolacyjna o punkcie zapłonu większym niż 300°C ,

- L - ciecze izolacyjne o niemierzalnym punkcie zapłonu.
2. Druga litera (oznacza mechanizm wprowadzenia w ruch wewnętrznego czynnika chłodzącego):
 - N - naturalny termosyfonowy przepływ przez urządzenia chłodzące i w uzwojeniach,
 - F - wymuszony przepływ oleju przez urządzenia chłodzące oraz termosyfonowy przepływ w uzwojeniach,
 - D - wymuszony przepływ oleju przez urządzenia chłodzące oraz kierowany przepływ z urządzeń chłodzących, do co najmniej jednego z uzwojeń podstawowych.
 3. Trzecia litera (oznacza zewnętrzny czynnik chłodzący):
 - A - powietrze,
 - W - woda.
 4. Czwarta litera (oznacza mechanizm wprowadzenia w ruch zewnętrznego czynnika chłodzącego):
 - N - konwekcja naturalna,
 - F - obieg wymuszony (wentylatory, pompy).

Tabl. 4.2. Charakterystyki cieplne wykorzystywane do obliczeń tablic obciążenia w sekcji 3

		Transformatory rozdzielcze	Transformatory średniej i dużej mocy		
		ONAN	ON...	OF...	OD...
Wykładnik potęgi dla oleju	x	0,8	0,9	1,0	1,0
Wykładnik potęgi dla uzwojenia	y	1,6	1,8	1,6	2,0
Stosunek strat	R	5	6	6	6
Współczynnik najgorętszego miejsca	H	1,1	1,3	1,3	1,3
Stała czasowa oleju	τ_0 [h]	3,0	2,5	1,5	1,5
Temperatura otoczenia	Θ_a [°C]	20	20	20	20
Przyrost temperatury najgorętszego miejsca	$\Delta\Theta_{hr}$ [°C]	78	78	78	78
Średni przyrost temperatury uzwojenia	$\Delta\Theta_{wr}$ [°C]	65	63	63	68
Różnica temperatury najgorętszego miejsca i oleju w górnej warstwie	Hg_r [°C]	23	26	22	29
Średni przyrost temperatury oleju w uzwojeniu		44	43	46	46
Przyrost temperatury oleju w górze uzwojenia ¹⁾	$\Delta\Theta_{imr}$ [°C]	55	52	56	49
Przyrost temperatury oleju na dole	$\Delta\Theta_{ir}$ [°C]				
	$\Delta\Theta_{br}$ [°C]	33	34	36	43

¹⁾ Dla chłodzenia ON przyjęto $\Delta\Theta_{ir}=\Delta\Theta_{or}$.

Przykłady:

- ONAN/ONAF - Transformator ma zestaw wentylatorów włączany w miarę potrzeb, przy większym obciążeniu. W obu przypadkach jest naturalny obieg oleju.
- ONAN/OFAF - Transformator ma urządzenia chłodzące, w skład którego wchodzi pompy i wentylatory, ale ma również możliwość pracy przy chłodzeniu naturalnym i małej mocy obciążenia, np. w przypadku braku napięcia pomocniczego.

4.1.2.2. Równania stanu ustalonego

Równania stanu ustalonego zależą od typu chłodzenia transformatora. Można wyróżnić wtedy trzy przypadki:

a) Chłodzenie ON

W transformatorze z chłodzeniem typu ON, temperatura najgorętszego miejsca Θ_h przy obciążeniu K jest równa sumie temperatury otoczenia Θ_a , przyrostu temperatury oleju

w górnej warstwie i różnicy temperatur pomiędzy najgorętszym miejscem a olejem w górnej warstwie, czyli:

$$\Theta_h = \Theta_a + \Delta\Theta_{or} \cdot \left(\frac{1 + R \cdot K^2}{1 + R} \right)^x + Hg_r \cdot K^y \quad (4.2)$$

b) Chłodzenie OF

W transformatorze z chłodzeniem typu OF, temperatura najgorętszego miejsca Θ_h przy obciążeniu K jest równa sumie temperatury otoczenia Θ_a , przyrostu temperatury oleju na dole, różnicy temperatur oleju w górnej i dolnej warstwie oleju oraz różnicy temperatur pomiędzy najgorętszym miejscem a olejem w górnej warstwie, czyli:

$$\Theta_h = \Theta_a + \Delta\Theta_{br} \cdot \left(\frac{1 + R \cdot K^2}{1 + R} \right)^x + 2 \cdot (\Delta\Theta_{imr} - \Delta\Theta_{br}) \cdot K^y + Hg_r \cdot K^y \quad (4.3)$$

c) Chłodzenie OD

W transformatorze z chłodzeniem typu OF, temperatura najgorętszego miejsca Θ'_h oblicza się z wzoru (4.2) jak przy chłodzeniu ON dodając poprawkę wynikającą ze zmiany rezystancji uzwojeń wraz z temperaturą, czyli:

$$\Theta'_h = \Theta_h + 0,15 \cdot (\Theta_h - \Theta_{hr}) \quad (4.4)$$

4.1.2.3. Równania stanu nieustalonego

Założono, że dobowe zmiany obciążenia transformatora zostaną zastąpione równoważnemu wykresowi obciążenia z jedynie skokowymi zmianami tego obciążenia (określenie zastępczego równoważnego dwustopniowego wykresu obciążenia zostanie omówione w rozdziale 4.1.3). Przy takim założeniu do obliczenia temperatury najgorętszego miejsca należy zastosować program komputerowy albowiem musimy zastosować metody numeryczne. Przyrost temperatury oleju np. w dolnej warstwie po czasie t oznaczony jako $\Delta\Theta_{bt}$ wynosi:

$$\Delta\Theta_{bt} = \Delta\Theta_{bi} + (\Delta\Theta_{bu} - \Delta\Theta_{bi}) \cdot \left(1 - e^{-t/\tau_o} \right) \quad (4.5)$$

gdzie:

- $\Delta\Theta_{bi}$ - początkowy przyrost temperatury oleju na dole,
- $\Delta\Theta_{bu}$ - końcowy przyrost temperatury oleju na dole,
- τ_o - stała czasowa oleju.

4.1.2.4. Starzenie się cieplne izolacji transformatora

Układ izolacyjny transformatora będzie podlegać starzeniu się. Według prawa Arrheniusa czas życia można wyrazić zależnością:

$$\text{czas życia} = e^{\left(\alpha + \frac{\beta}{T} \right)} \quad (4.6)$$

gdzie:

- α, β - stałe,
- T - temperatura bezwzględna.

Dla ograniczonego przedziału temperatur zależność powyższą upraszcza się stosując wykładniczą zależność Montsingera:

$$\text{czas życia} = e^{-\rho \cdot \Theta} \quad (4.7)$$

gdzie:

- ρ - stała,
- Θ - temperatura w °C.

Wychodząc z powyższej reguły szybkość starzenia określono następująco:

$$\text{szybkosc starzenia się} = \text{stała} \cdot e^{-\rho \cdot \Theta} \quad (4.8)$$

W przedziale od 80 do 140°C, w których pracuje transformator, współczynnik ρ można przyjąć, że jest stały. Przyjęto, że szybkość starzenia się izolacji podwaja się przy wzroście temperatury o 6 °C. W oparciu o powyższe założenia określamy względną szybkość starzenia się V jako:

$$V = 2^{\frac{\Theta_h - 98}{6}} \quad (4.9)$$

W oparciu o wyznaczoną względną szybkość starzenia się można obliczyć zużycie czasu życia transformatora L jako:

$$L = \frac{1}{t_2 - t_1} \cdot \int_{t_1}^{t_2} V \cdot dt \quad (4.10)$$

4.1.2.5. Temperatura otoczenia

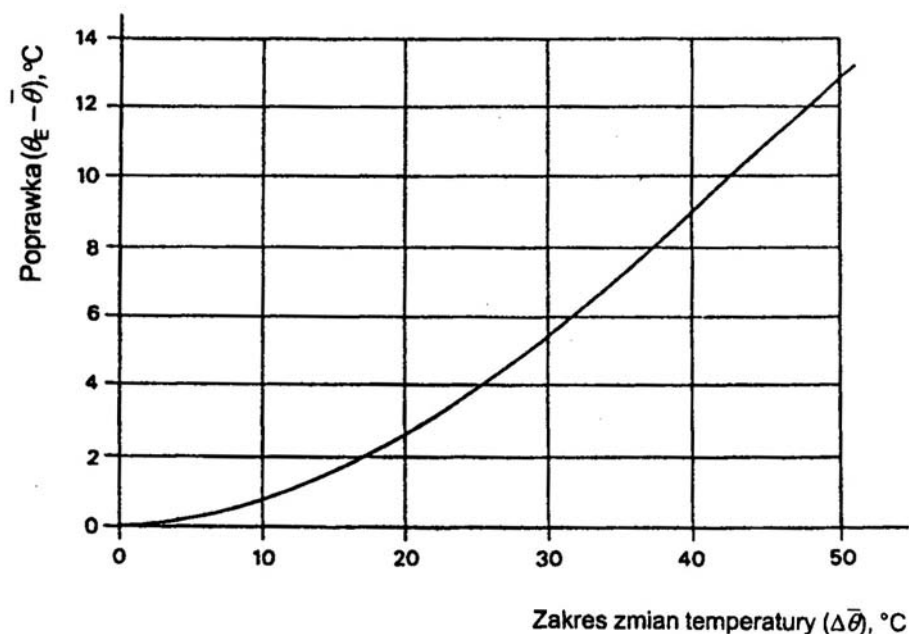
Dla transformatorów napowietrznych temperatura otoczenia to temperatura powietrza. Jeśli w rozważanym przedziale czasu wraz ze zmianą obciążenia zmienia się temperatura to do obliczeń cieplnych należy stosować jej średnią ważoną a nie średnią arytmetyczną. Średnia ważona temperatura otoczenia Θ_E jest to taka stała wartość temperatury, która powoduje takie samo starzenie się izolacji jak zmieniająca się temperatura. Gdy zmiany temperatury są sinusoidalne to przy przyjętych założeniach odnośnie szybkości starzenia się izolacji średnią ważoną temperaturę otoczenia można wyznaczyć z wzoru:

$$\Theta_E = \bar{\Theta} + 0,01 \cdot (\Delta\bar{\Theta})^{1,85} \quad (4.11)$$

gdzie:

- $\bar{\Theta}$ - temperatura średnia,
- $\Delta\bar{\Theta}$ - zakres zmian temperatury.

Wzór (4.11) zaprezentowano także w postaci wykresu pokazanego na rys. 4.1.



Rys. 4.1. Poprawka temperatury w funkcji zakresu jej zmian

W przypadku transformatorów pracujących w pomieszczeniach do średniej ważonej temperatury otoczenia należy dodać poprawki podane w tabl. 4.3.

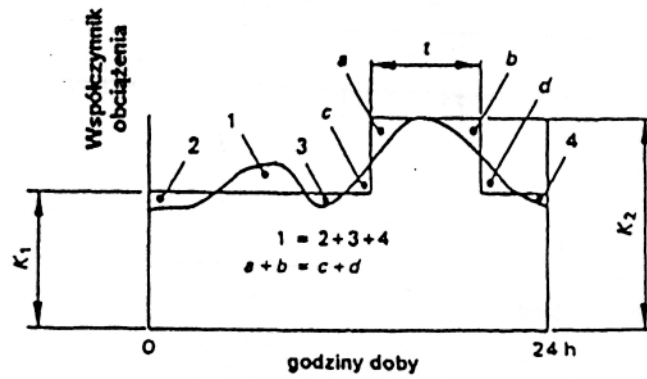
Tabl. 4.3. Poprawki, które należy dodać do średniej ważonej temperatury otoczenia w przypadku obliczania temperatury otoczenia transformatorów pracujących w pomieszczeniach

Typ pomieszczenia	Liczba zainstalowanych transformatorów	Moc transformatora, w [kVA]			
		250	500	750	1000
Piwnice z naturalną wentylacją	1	11	12	13	14
	2	12	13	14	16
	3	14	17	19	22
Suteryny i budynki ze słabą naturalną wentylacją	1	7	8	9	10
	2	8	9	10	12
	3	10	13	15	17
Budynki z dobrą naturalną wentylacją oraz piwnice i suteryny z wymuszoną wentylacją	1	3	4	5	6
	2	4	5	6	7
	3	6	9	10	13
Kioski	1	10	15	20	-

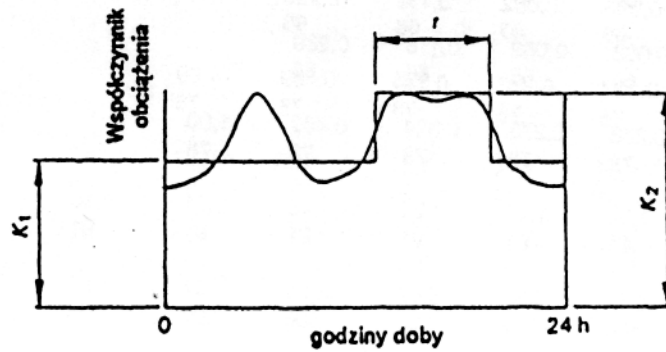
¹⁾ Powyższe szacunkowe poprawki temperatury dotyczą typowych warunków obciążenia stacji i przeciętnych wartości strat transformatorów.
²⁾ W przypadku kiosków poprawka nie jest potrzebna, gdy próba nagrzewania transformatora była przeprowadzona w kiosku jako kompletnej jednostce.

4.1.3. Określenie zastępczego równoważnego dwustopniowego wykresu obciążenia

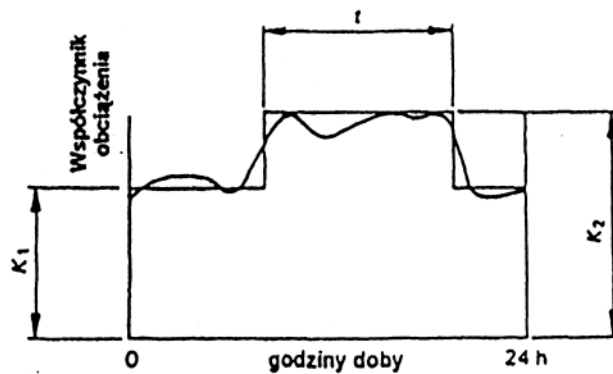
Dobowy cykl obciążenia należy odwzorować uproszczonym dwustopniowym wykresem obciążenia przedstawionym na rys. 4.2, rys. 4.3 i rys. 4.4.



Rys. 4.2. Cykl obciążenia z jednym szczytem



Rys. 4.3. Cykl obciążenia z dwoma szczytami o takiej samej wartości i różnym czasie trwania



Rys. 4.4. Cykl obciążenia ze szczytami blisko siebie

Na tych rysunkach obciążenia przedstawione są jednostkach względnych, obciążenia K_1 , K_2 są więc względnymi obciążeniami transformatora:

$$K_1 = \frac{S_1}{S_T} \quad (4.12)$$

Algorytm tworzenia tych wykresów jest następujący:

- obciążenie szczytowe K_2 przyjmuje się równe rzeczywistemu obciążeniu szczytowemu,
- czas t wyznaczamy z części wykresu obejmującego szczyt obciążenia i korzystając z zasady równych powierzchni, jak to przedstawiono na rys. 4.2,

- obciążenie pozaszczytowe K_1 wyznacza się jako obciążenie średnie z pozostałej części wykresu.

Jest to bardzo nieprecyzyjny sposób określania tych wielkości. W razie wątpliwości należy przyjąć najbardziej ostrożny wykres obciążenia.

4.1.4. Dobór transformatora dla normalnego obciążenia ciągłego

Jeżeli obciążenie nie zmienia się w czasie znacząco to można posługiwać się stałą równoważną wartością obciążenia i dopuszczalny współczynnik obciążenia $K=K_{24}$ określamy dla występującej temperatury otoczenia wg tabl. 4.4.

Tabl. 4.4. Dopuszczalny współczynnik obciążenia K_{24} przy pracy ciągłej i różnych temperaturach otoczenia (chłodzenie ON, OF i OD)

Temperatura otoczenia, [°C]		-25	-20	-10	0	10	20	30	40	
Przyrost temperatury najgorętszego miejsca, [°C]		123	118	108	98	88	78	68	58	
K_{24}	Transformatory rozdzielcze	OMAN	1,37	1,33	1,25	1,17	1,09	1,00	0,91	0,81
	Transformatory średniej i dużej mocy	ON	1,33	1,30	1,22	1,15	1,08	1,00	0,92	0,82
		OF	1,31	1,28	1,21	1,14	1,08	1,00	0,92	0,63
		OD	1,24	1,22	1,17	1,11	1,06	1,00	0,94	0,87

4.1.5. Dobór transformatora dla normalnego obciążenia cyklicznego

Wykresy dopuszczalnych obciążeń (od rys. 4.6 do rys. 4.13) są sporządzone dla ośmiu temperatur otoczenia: -25, -20, -10, 0, 10, 20, 30, 40 °C oraz dla następujących typów transformatorów:

- transformatory rozdzielcze o chłodzeniu ONAN,
- transformatory średniej i dużej mocy o chłodzeniu ON (ONAN lub ONAF),
- transformatory średniej i dużej mocy o chłodzeniu OF (OFAF lub OFWF),
- transformatory średniej i dużej mocy o chłodzeniu OD (ODAF lub ODWF).

W celu dobrania mocy znamionowej transformatora należy na odpowiednim wykresie wykreślić prostą o nachyleniu:

$$\frac{K_2}{K_1} = \frac{S_2}{S_1} \quad (4.13)$$

i znaleźć punkt przecięcia tej linii z prostą odpowiadającą czasowi trwania obciążenia szczytowego. Współrzędne tego punktu K_1 i K_2 pozwalają określić minimalną moc transformatora:

$$S_r = \frac{S_1}{K_1} = \frac{S_2}{K_2} \quad (4.14)$$

Przykład

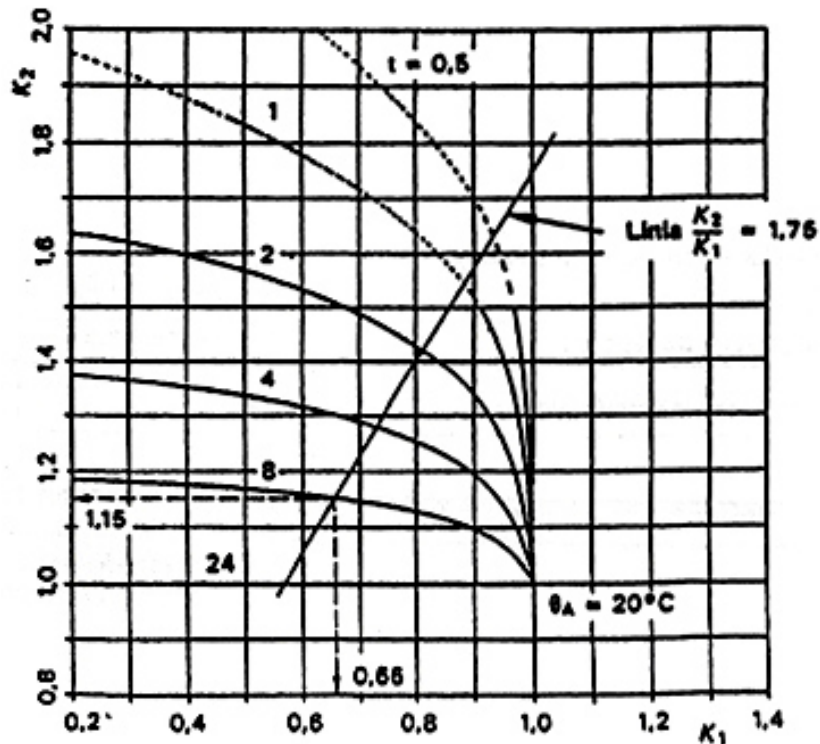
Dobrać transformator rozdzielczy z chłodzeniem ONAN do obciążenia w temperaturze 20 °C mocą 1750 kVA w ciągu 8 h i mocą 1000 kVA przez pozostałe 16 h.

Rozwiązanie

Obliczamy nachylenie prostej:

$$\frac{K_2}{K_1} = \frac{S_2}{S_1} = \frac{1750}{1000} = 1,75$$

i kreślimy linię o tym nachyleniu na odpowiednim wykresie (rys. 4.5).



Rys. 4.5. Ilustracja do przykładu

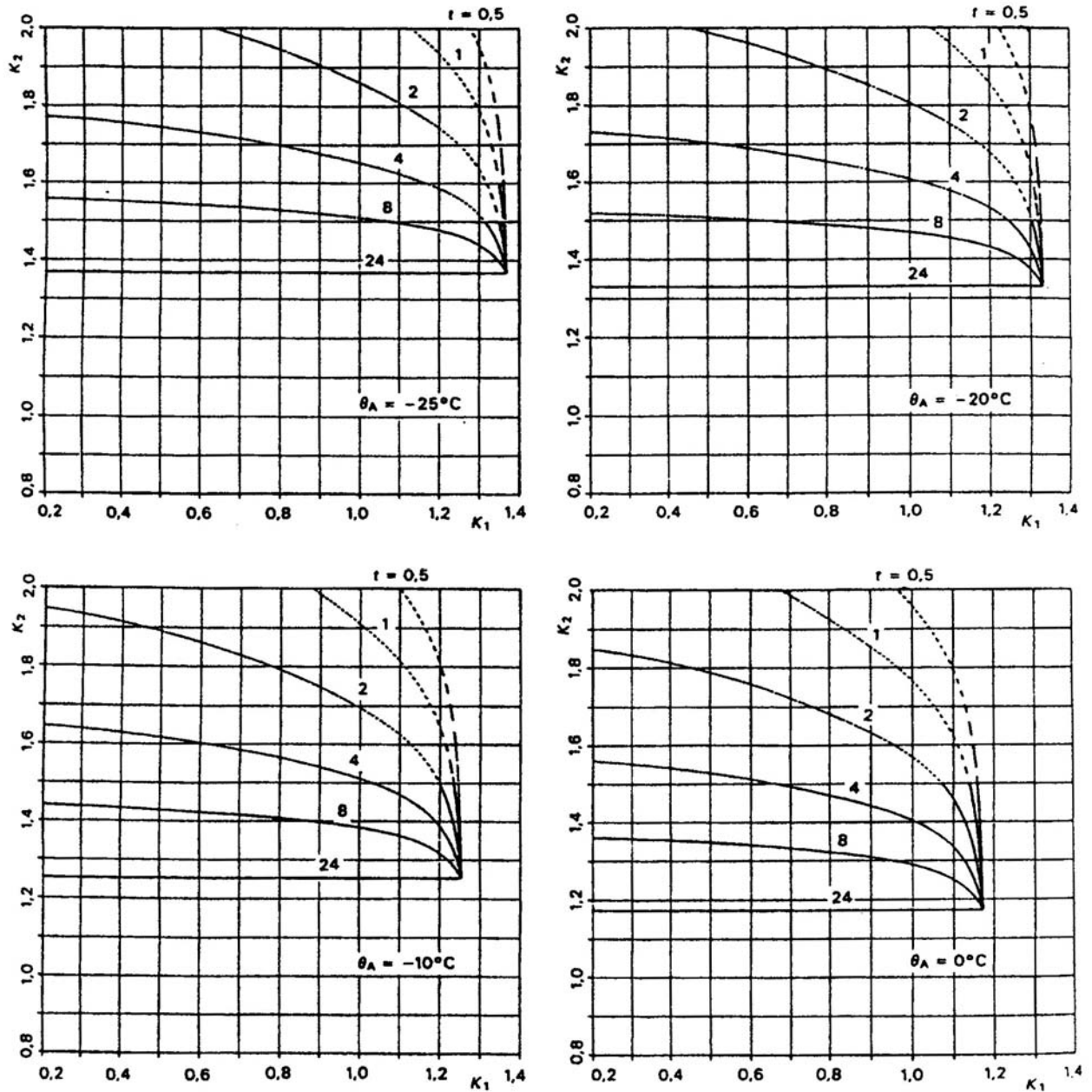
Znajdujemy punkt przecięcia tej prostej z krzywą dla $t=8$ h i określamy współrzędne tego punktu:

$$K_1=0,66 \quad K_2=1,15$$

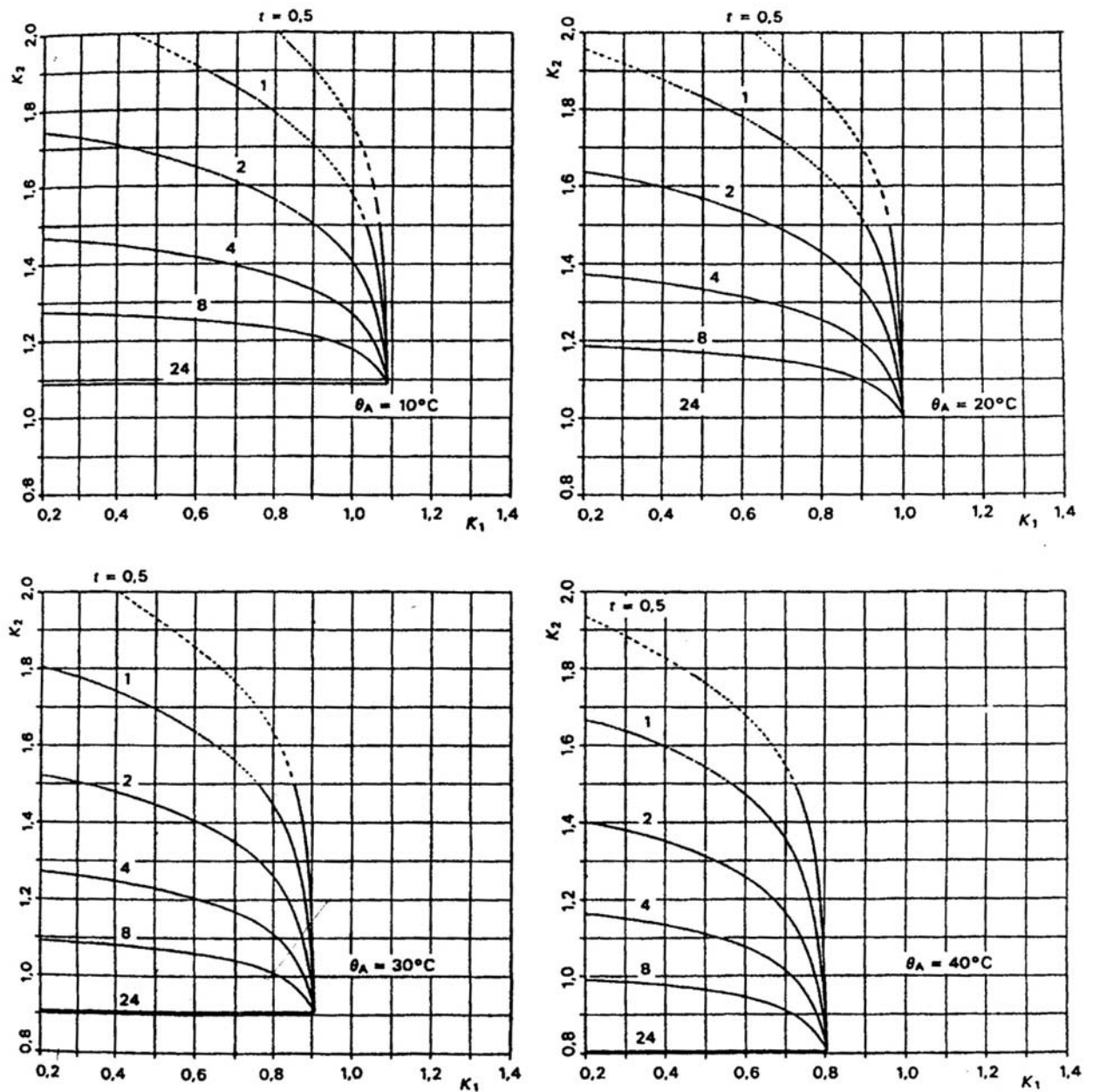
Obliczamy minimalną moc transformatora:

$$S_r = \frac{S_1}{K_1} = \frac{S_2}{K_2} = \frac{1750}{1,15} = \frac{1000}{0,66} = 1520 \text{ kVA}$$

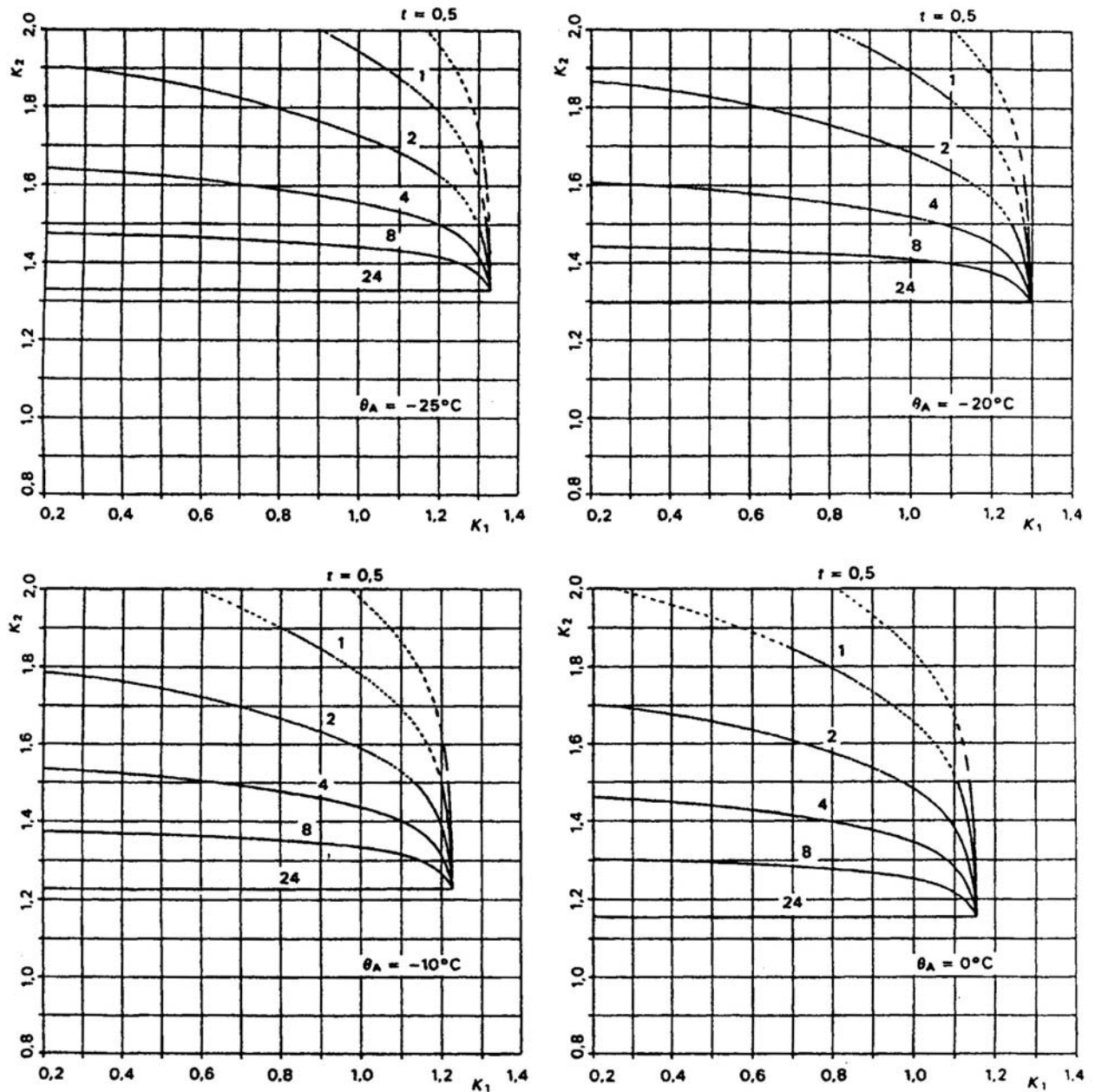
Ostatecznie dobieramy transformator o mocy znamionowej większej od obliczonej, czyli o mocy 1600 kVA.



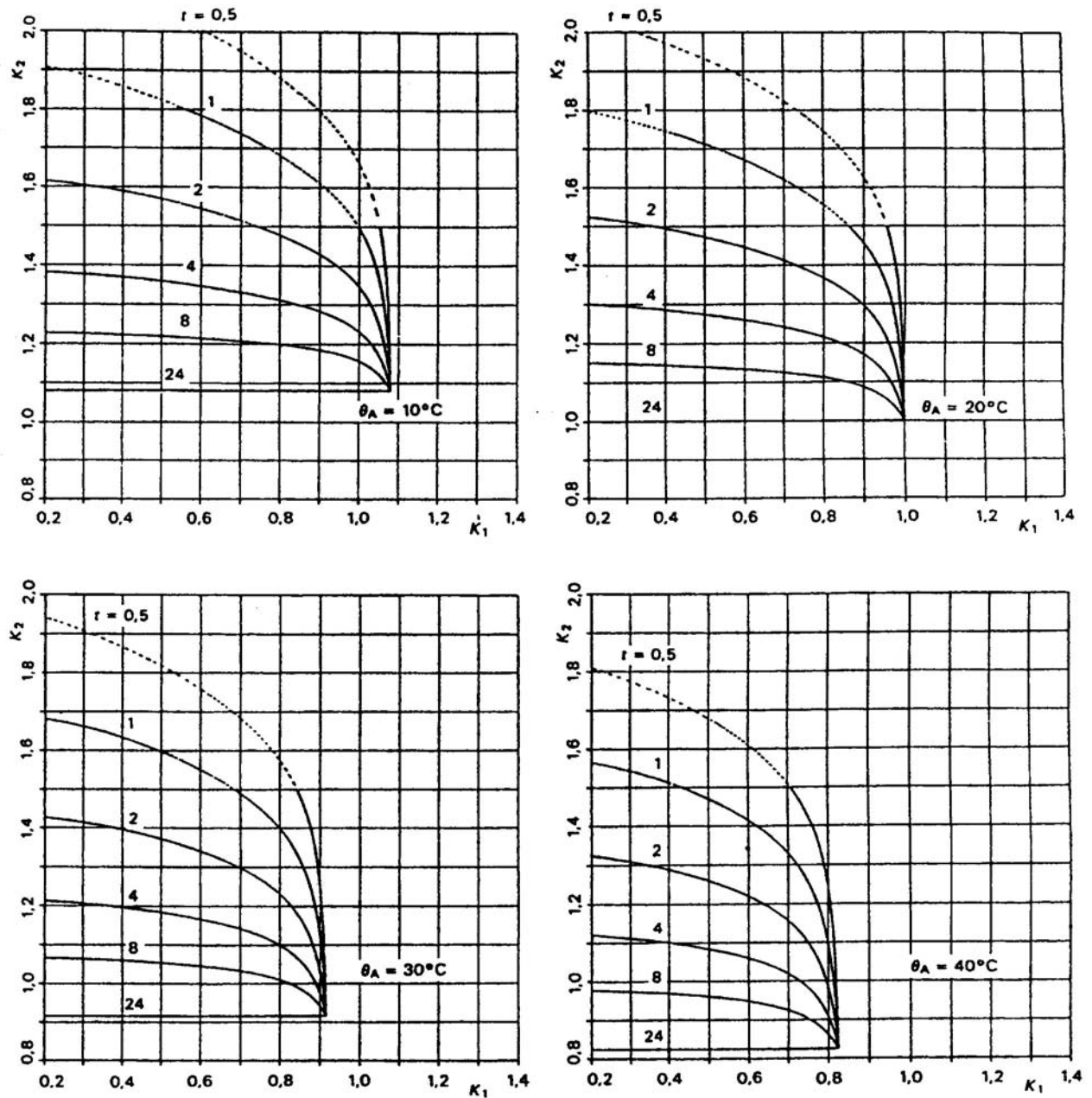
Rys. 4.6. Dopuszczalne obciążenie transformatora rozdzielczego ONAN przy normalnym zużyciu czasu życia



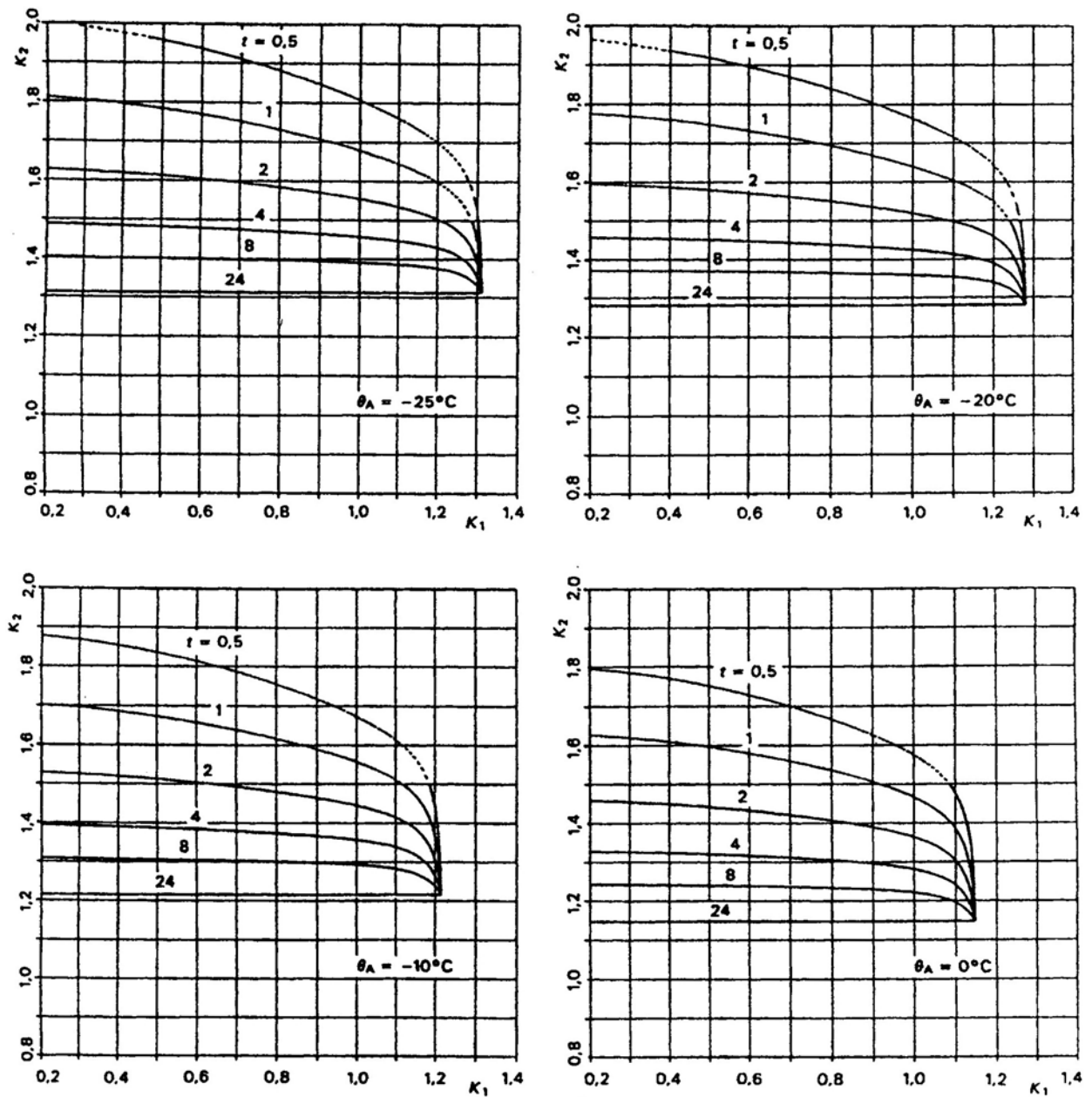
Rys. 4.7. Dopuszczalne obciążenie transformatora rozdzielczego ONAN przy normalnym zużyciu czasu życia



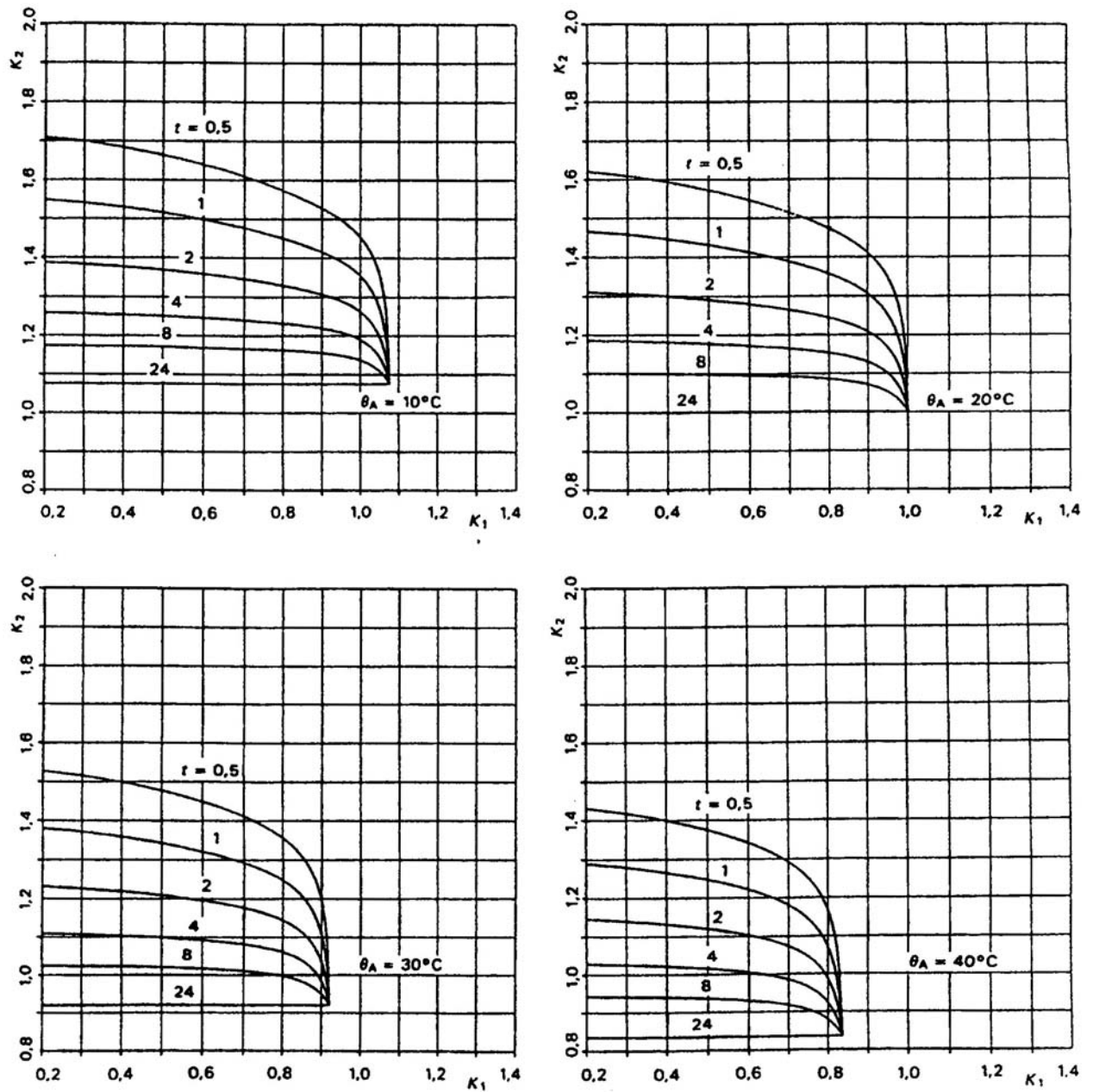
Rys. 4.8. Dopuszczalne obciążenie transformatorów średniej lub dużej mocy ON przy normalnym zużyciu czasu życia



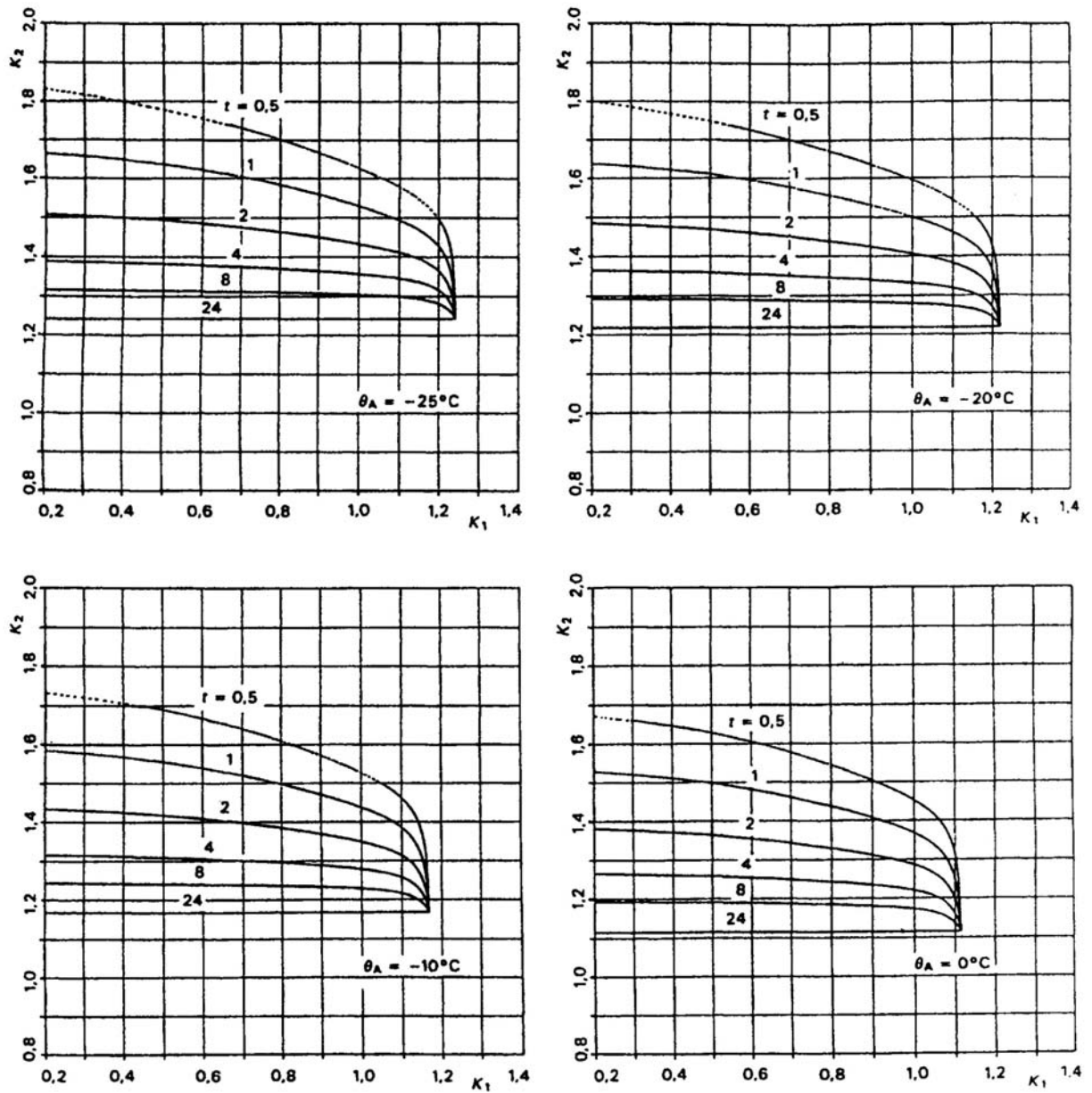
Rys. 4.9. Dopuszczalne obciążenie transformatorów średniej lub dużej mocy ON przy normalnym zużyciu czasu życia



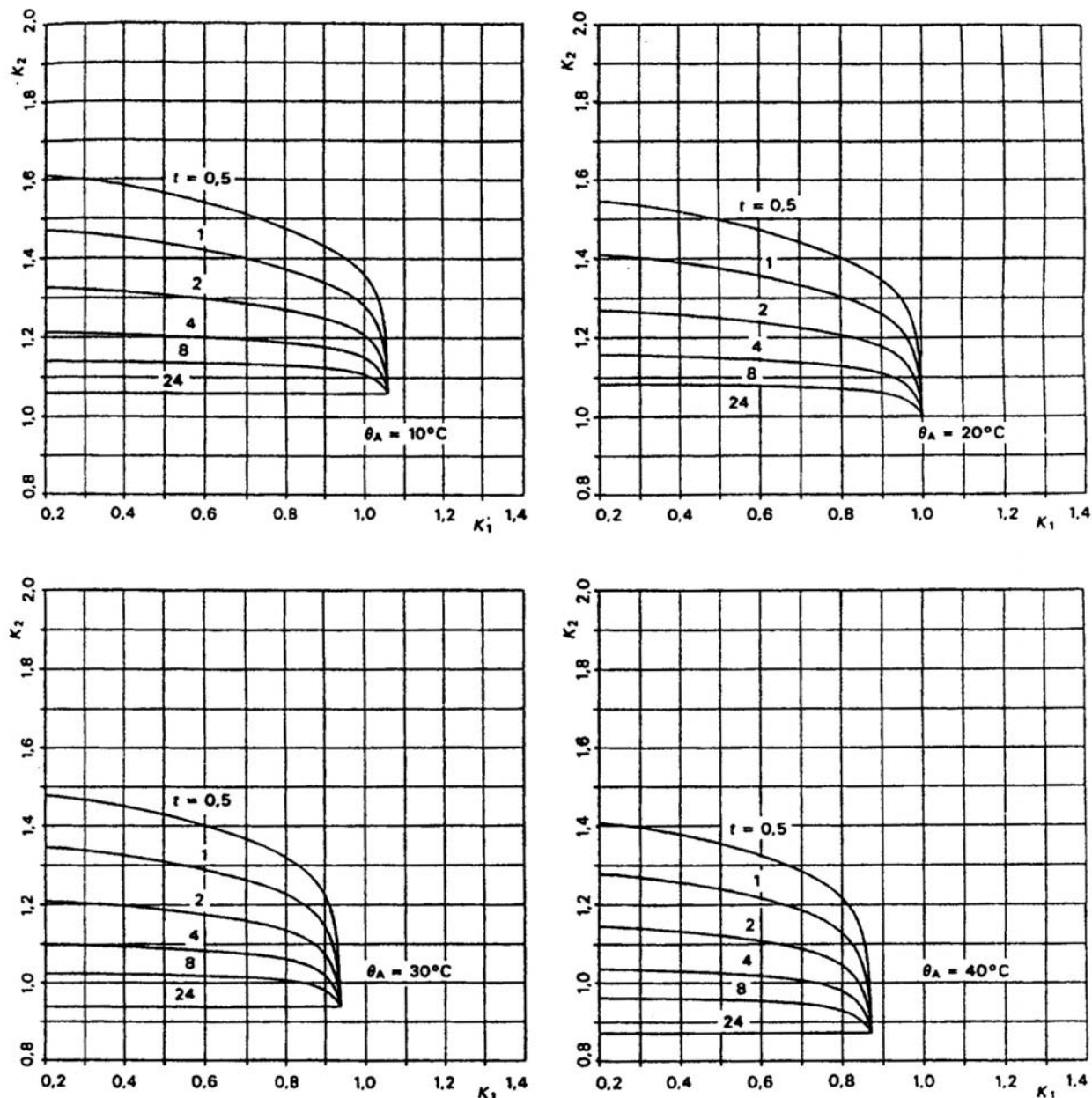
Rys. 4.10. Dopuszczalne obciążenie transformatorów średniej lub dużej mocy OF przy normalnym zużyciu czasu życia



Rys. 4.11. Dopuszczalne obciążenie transformatorów średniej lub dużej mocy OF przy normalnym zużyciu czasu życia



Rys. 4.12. Dopuszczalne obciążenie transformatorów średniej lub dużej mocy OD przy normalnym zużyciu czasu życia



Rys. 4.13. Dopuszczalne obciążenie transformatorów średniej lub dużej mocy OD przy normalnym zużyciu czasu życia

4.1.6. Określenie awaryjnego obciążenia cyklicznego

Przedstawione w przewodniku tablice pozwalają użytkownikowi określić, jak można obciążyć transformator bez przekroczenia granicznej temperatury najgorętszego miejsca uzwojenia podanego w tabl. 4.1 a także, jakie będą skutki, co do zużycia transformatora. Wartości podane w tablicach odpowiadają sześciu wartościom czasu (od 0,5 do 24 h) i następującym typom transformatorów:

- transformatory rozdzielcze o chłodzeniu ONAN,
- transformatory średniej i dużej mocy o chłodzeniu ON (ONAN lub ONAF),
- transformatory średniej i dużej mocy o chłodzeniu OF (OFAF lub OFWF),
- transformatory średniej i dużej mocy o chłodzeniu OD (ODAF lub ODWF).

Używając tych tablic można stwierdzić, czy wykres obciążenia charakteryzujący się konkretnymi wartościami K_1 , K_2 i t jest dopuszczalny w określonej temperaturze otoczenia, a jeżeli tak, to, jakie będzie dobowe zużycie czasu życia (wyrażone w normalnych dobach tj. równoważnych dobach pracy przy mocy znamionowej i temperaturze otoczenia 20 °C). Przykładowa taka tablica to tabl. 4.5. Pozostałe tablice zamieszczono w załączniku nr 1.

Tabl. 4.5. Transformatory średniej i dużej mocy, chłodzenie OF, $t=8$ h
Dopuszczalne obciążenia i odpowiadające im dobowe zużycie czasu życia (wyrażone w dobach „normalnych”). W celu stwierdzenia, czy dobowy przebieg obciążenia scharakteryzowany wartościami K_1 i K_2 jest dopuszczalny, i oceny dobowego zużycia czasu życia należy postępować następująco:

Temperatura otoczenia	40°C	30°C	20°C	10°C	0°C	-10°C	-20°C	-25°C
Dobowe zużycie izolacji: Pomnóż wartość podaną w dolnej części tablicy przez współczynnik podany tutaj. Wynik należy zaokrąglić.	10	3,2	1	0,32	0,1	0,032	0,01	0,0055
Temperatura najgorętszego miejsca: Dodaj przyrost temperatury najgorętszego miejsca podany w tablicy do temperatury otoczenia. Jeśli temperatura najgorętszego miejsca przekracza wartość podaną w tabl. 4.1, obciążenie nie jest dopuszczalne.								

	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50
K_2											
0,7	0,006 44	0,008 44	0,020 44								
0,8	0,017 54	0,020 64	0,034 64	0,065 54							
0,9	0,057 66	0,063 66	0,082 66	0,118 66	0,239 66						
1,0	0,223 78	0,238 78	0,273 78	0,324 78	0,469 78	1,00 78					
1,1	0,989 91	1,04 91	1,14 91	1,24 91	1,45 91	2,11 91	4,70 91				
1,2	4,95 106	6,17 106	6,63 106	5,82 106	6,31 106	7,37 106	10,7 106	24,8 106			
1,3	27,8 121	28,9 121	30,6 121	31,8 121	33,5 121	36,3 121	42,1 121	60,7 121	147 121		
1,4	175 137	181 137	190 137	197 137	205 137	217 137	235 137	271 137	388 137	975 137	
1,5	1240 155	1280 155	1330 155	1370 155	1420 155	1490 155	1570 155	1700 155	1950 155	2780 155	7230 155
1,6	9790 173	+ 173	+ 173	+ 173	+ 173	+ 173	+ 173	+ 173	+ 173	+ 173	+ 173

Przykład

Jakie jest dobowe zużycie czasu życia i temperatura najgorętszego miejsca w transformatorze średniej mocy w następujących warunkach:

- chłodzenie OF,
- $K_1=0,8$,
- $K_2=1,3$,

- $t=8$ h,
- $\Theta_a=30$ °C.

Rozwiązanie

Zgodnie z dolną częścią tabl. 4.5 dla zadanych wartości K_1 oraz K_2 mamy:

- względną szybkość starzenia się $V=31,8$,
- względny przyrost temperatury $\Delta\Theta_h=121$ °C.

Biorąc przyjętą temperaturę otoczenia $\Theta_a=30$ °C z górnej części tabl. 4.5 odczytujemy współczynnik:

- $k=3,2$.

Dobowe zużycie czasu życia transformatora wynosi:

$$L=V*k=31,8*3,2=102 \text{ normalnych dób}$$

Temperatura najgorętszego miejsca w transformatorze wynosi:

$$\Delta\Theta=\Delta\Theta_h+\Theta_a=121+30=151 \text{ °C.}$$

Temperatura najgorętszego miejsca w transformatorze przekracza dopuszczalną wartość 140 °C, takich warunków pracy transformatora nie możemy dopuścić.

4.1.7. Regulacja przekładni transformatora

Transformatory są wyposażone w zaczepty zmieniające przekładnię transformatora. Występują tutaj dwa rozwiązania przełączania zaczeptów:

- przełączanie ręczne w stanie beznapięciowym występujące tylko w transformatorach średnie na niskie napięcie,
- przełączanie pod obciążeniem wykonywane automatycznie za pomocą specjalnych urządzeń.

Z występowaniem zaczeptów wiążą się z dodatkowymi pojęciami:

- Współczynnik zaczeptowy równy stosunkowi: napięcia, jakie powstałoby w stanie bezobciążeniowym na zaciskach uzwojenia i na danym zaczeptie po doprowadzeniu napięcia znamionowego do uzwojenia bez zaczeptów do napięcia znamionowego uzwojenia zaczeptami.
- Zaczeptem dodatnim oznaczamy zaczept, dla którego współczynnik zaczeptowy jest większy od 1 a zaczeptem ujemnym, gdy jest mniejszy od 1. Z definicji tych wynika, że gdy zaczepty są po stronie górnego napięcia to dodanie zaczeptowi dodatniemu odpowiada dodanie zwojów.
- Różnica współczynników zaczeptowych sąsiednich zaczeptów wyrażona w procentach to stopień zaczeptowy.
- Zakres zmian współczynnika zaczeptowego to zakres zaczeptowy.
- Przekładnia zaczeptowa to przekładnia znamionowa:
 - ◆ pomnożona przez współczynnik zaczeptowy w przypadku występowania zaczeptów po stronie górnego napięcia,
 - ◆ podzielona przez współczynnik zaczeptowy w przypadku występowania zaczeptów po stronie dolnego napięcia.

Oznaczenie zakresu regulacji transformatora:

- przy symetrycznym rozmieszczeniu zaczeptów np. $(115 \pm 10 \times 1,5\%) / 15$ kV,

- przy niesymetrycznym rozmieszczeniu zaczepów np. $\left(\begin{array}{c} +12 \times 1,5\% \\ 115 \\ -8 \times 1,5\% \end{array} \right) / 15 \text{ kV}$

Oznaczenie zakresu regulacji oraz stopni regulacji opisuje zakres zmian przekładni transformatora, lecz nie opisuje ich możliwości regulacyjnych. Informacje te można zaprezentować na dwa sposoby podając:

- rodzaj regulacji,
- dla każdego zaczeput: moc zaczeputowa, napięcie zaczeputowe i prąd zaczeputowy.

W transformatorach możemy mieć trzy rodzaje regulacji:

- Regulacja napięcia przy stałym strumieniu określona skrótem CFVV. W tym przypadku zaczeputy są umiejscowione po stronie wtórnej a napięcie zaczeputowe w uzwojeniu bez zaczeputów nie zależy od zaczeputu. W tym przypadku napięcie zwarcia transformatora jest stałe.
- Regulacja napięcia przy zmiennym strumieniu określona skrótem VFVV. W tym przypadku zaczeputy są umiejscowione po stronie pierwotnej a napięcie zaczeputowe w uzwojeniu z zaczeputów nie zależy od zaczeputu. W tym przypadku napięcie zwarcia transformatora jest odwrotnie proporcjonalne do kwadratu przekładni.
- Regulacja napięcia mieszana określona skrótem CbVV.

4.2. DOBÓR PRZEWODÓW SZYNOWYCH ZBIORCZYCH

4.2.1. Uwagi ogólne

Szyny zbiorcze oraz inne połączenia między urządzeniami rozdzielni wykonuje się najczęściej przewodami gołymi giętkimi lub sztywnymi. Obecnie w nowych rozwiązaniach konstrukcyjnych rozdzielni tj. w rozdzielniach izolowanych izolacją stałą lub gazową szyny zbiorcze są również w ten sam sposób izolowane. Dalej omówiony zostanie jedynie dobór szyn gołych. Szyny giętkie stosuje się przede wszystkim w rozdzielniach napowietrznych oraz wewnętrznych tzw. halowych i wykonuje się najczęściej z przewodów stalowo-aluminiowych, aluminiowych lub ze stopów aluminiowych stosowanych również do budowy linii napowietrznych. Przy większych prądach roboczych oraz ze względu na ulot przy wysokich napięciach (400, 750 kV) stosuje się przewody wiązkowe, które charakteryzują się wysoką obciążalnością prądową. Do najczęściej stosowanych przewodów należą:

- przy małych obciążeniach prądowych - AFI-6 240 mm²,
- przy dużych obciążeniach prądowych - AFI-8 525 mm², AFI-887 mm², AL-887 mm², pojedyncze lub w wiązках 2, 3, 4 przewodowych.

W przypadku, gdy atmosfera chemicznie aktywna nie pozwala na stosowanie szyn aluminiowych stosuje się szyny miedziane.

Szyny zbiorcze sztywne stosowane są powszechnie w rozdzielniach wewnętrznych a obecnie coraz częściej w napowietrznych rozdzielniach wysokiego napięcia. Szyny zbiorcze sztywne wykonuje się najczęściej z aluminium lub ze stopów aluminium, zastosowanie szyn miedzianych ogranicza się do przypadków, podobnie jak dla szyn giętkich, gdy atmosfera chemicznie aktywna nie pozwala na stosowanie szyn aluminiowych. W rozdzielniach wewnętrznych średnich napięć najczęściej stosowane są szyny z płaskowników o wymiarach od 15x3 mm do 120x15 mm. Przy większych prądach, gdy nie wystarcza jeden płaskownik, stosuje się tzw. szyny wielopasmowe składające się z 2 lub 3 płaskowników w jednej fazie. Przewodów 4 i więcej pasmowych nie stosuje się (przy prądzie zmiennym) ze względu na ograniczoną możliwość wykorzystania materiału przewodowego spowodowaną zjawiskami zbliżenia i naskórkowości. Przy dużych obciążeniach

prądowych można zastosować szyny miedziane sztywne. Dobrym wykorzystaniem materiału przy wysokiej wytrzymałości mechanicznej odznaczają się szyny ceownikowe 1 i 2 pasmowe. Są one stosowane przy budowie torów wieloprądowych.

Szyny rurowe mają stosunkowo dużą wytrzymałość mechaniczną, wykorzystanie materiału przewodowego jest jednak mniejsze ze względu na brak udziału w wymianie ciepła wewnętrznej powierzchni rury. Brak ostrych krawędzi zmniejsza możliwość występowania ulotu, dlatego szyny rurowe stosuje się chętnie w rozdzielniach wysokiego napięcia. Ze względu na stosunkowo małą wytrzymałość mechaniczną samego aluminium przy dużych rozpiętościach pręseł szyn zbiorczych w rozdzielniach stosuje się stopy aluminium, najczęściej magnezowo-krzemowe, np. anticordal. Z zamieszczonych w tabl. 4.6 właściwości wynika, że przy niewielkim obniżeniu o 15% przewodności uzyskuje się trzykrotne zwiększenie wytrzymałości mechanicznej. Na przewody szynowe stosowane są rury produkowane przez wyciskanie albowiem są one o 30% wytrzymalsze niż spawane, i o fabrycznych długościach 20 m dla rozdzielni 40 kV i 8 m dla rozdzielni 110 kV.

Tabl. 4.6. Właściwości fizyczne przewodów rurowych

Właściwość fizyczna	Aluminium (99,5%)	Anticorodal
Wytrzymałość mechaniczna R_m [N/mm ²]	70	215
Gęstość właściwa [kg/dm ³]	2,7	2,7
Przewodność właściwa [m/Ωmm ²]	35,4	30,0

Przewody rurowe są podatne na drgania. Najbardziej niebezpieczne są drgania wywołane prądami zwarciovymi oraz drgania eolskie. Drgania zwarciove występują rzadko, lecz charakteryzują się dużymi amplitudami. Drgania eolskie wywoływane przez strugę powietrza opływającego rurę występują często i mogą doprowadzić do zmęczenia materiału, posiadają częstotliwość drgań od 1 do kilkunastu Hz i muszą być wytłumiane. Najprostszy sposób wytłumienia to zakłócenie rezonansu przez umieszczenie wewnątrz rury przewodu linkowego zamocowanego na jednym końcu i luźno spoczywającego na drugim końcu.

Szyny prętowe są stosowane jedynie przy niewielkich obciążeniach prądowych, wykorzystanie materiału przewodowego jest w nich mniejsze niż w pozostałych typach przewodów szynowych.

Szyny giętkie łączy się przy pomocy takiego samego osprzętu jak przewody linii napowietrznych. Szyny płaskie łączy się za pomocą śrub lub przez spawanie. Przy prostych ciągach szyn sztywnych o długościach większych od 15 m ze względu na wydłużenie cieplne należy stosować złączki kompensacyjne o przekroju nie mniejszym niż przekrój przewodu szynowego. Przewody rurowe montuje się za pomocą specjalnych uchwytów, jeden koniec umocowany jest nieprzesuwnie, drugi koniec i punkty podparcia mocowane są przesuwnie lub wahliwo-przesuwnie.

Przewodów szyn zbiorczych dobiera się ze względu na:

- obciążalność długotrwała prądem ciągłym,
- wytrzymywanie skutków cieplnych prądu zwarciovego,
- wytrzymałość mechaniczną przy obciążeniach normalnych,
- wytrzymałość mechaniczną przy zwarciu,
- zjawisko ulotu.

4.2.2. Obciążalność długotrwała prądem ciągłym

Właściwy dobór przekroju przewodu szynowego na obciążalność długotrwałą prądem ciągłym polega na określeniu maksymalnego prądu roboczego I_{max} i doborze takiego przekroju przewodu szynowego, którego dopuszczalna obciążalność długotrwałą I_{dop} spełnia warunek:

$$I_{dop} \geq I_{max} \quad (4.15)$$

Obciążalność długotrwała prądem ciągłym zależy od następujących czynników:

- warunków środowiskowych,
- materiału przewodu,
- przekroju przewodu,
- budowy przewodu (szyna płaska pręt, rura ceownik, linka),
- usytuowania szyny w rozdzielni (szyny biegnące poziomo mają większą obciążalność niż biegnące pionowo, szyny poziome ustawione dłuższym bokiem przekroju poprzecznego pionowo mają większą obciążalność niż ułożone na płask),
- rodzaju prądu (zjawisko naskórkowości i zbliżenia przy prądzie zmiennym),
- stanu powierzchni przewodu (surowa lub malowana, dla przewodu malowanego obciążalność prądowa jest większa ze względu na lepsze warunki oddawania ciepła do otoczenia).

Określenie obciążalności długotrwałej prądem ciągłym polega na przeprowadzeniu obliczeń cieplnych, mających na celu ustawienie dla określonych warunków użytkowania wartości prądów, dla których nie zostanie przekroczona dopuszczalna długotrwałe temperatura przewodu. Obliczeń takich nie przeprowadza się każdorazowo przy projektowaniu rozdzielni, lecz korzysta się z gotowych tabel sporządzonych na podstawie obliczeń i pomiarów. Stosowne tabele zawiera Zarządzenia Ministra Górnictwa i Energetyki z dnia 17 lipca 1974 r. w sprawie doboru przewodów i kabli do obciążenia prądem elektrycznym [131]. Podawane w tabelach obciążalności dopuszczalne przewodów szynowych giętkich I_{dop} określone są przy założeniu temperatury dopuszczalnej długotrwałe przewodu 80 °C i następujących temperatur otoczenia:

- dla rozdzielni napowietrznych w okresie letnim (IV÷X) +30 °C,
- dla rozdzielni napowietrznych w okresie zimowym (XI÷III) +20 °C,
- dla rozdzielni wewnętrznych +25 °C.

Ponadto dla rozdzielni napowietrznych uwzględnia się:

- w okresie letnim wiatr o prędkości 0,5 m/s i nagrzewanie przewodu przez słońce,
- w okresie zimowym jedynie wiatr o prędkości 0,5 m/s.

Poniżej przedstawiono tabl. 4.7 zaczerpniętą z [131] obciążalności długotrwałej przewodów gołych miedzianych, aluminiowych i stalowo-aluminiowych.

Dla przewodów szynowych sztywnych ze względu na sposób sporządzania tabel dopuszczalnego obciążenia warunek (4.15) przyjmuje postać:

$$k I_{dop} \geq I_{max} \quad (4.16)$$

gdzie:

- k - iloczyn współczynników uwzględniających odstępstwo od warunków, dla których sporządzono tablicę.

Przykład tabeli obciążalności dla przewodów szynowych sztywnych przedstawiono w tabl. 4.8. Tablice obciążalności dla przewodów szynowych sztywnych sporządzone są dla następujących warunków:

- temperatura otoczenia wynosi 25 °C,
- szyny są ułożone poziomo,
- większa ściana boczna szyny ustawiona jest pionowo,
- określony jest odstęp w świetle szyn wielopasmowych (dla szyn wykonanych z płaskownika równy jest grubości szyny),
- malowane są tylko zewnętrzne powierzchnie szyn wielopasmowych.

Wartości współczynników uwzględniających odstępstwa od podanych warunków podane są w odpowiednich tabelach Zarządzenia [131].

Tabl. 4.7. Obciążalność długotrwała przewodów gołych miedzianych (D, L), aluminiowych (AL) i stalowo-aluminiowych (AFL) wg [131].

Przekrój znamionowy	Przewody zastosowane w pomieszczeniach o temperaturze obliczeniowej otoczenia - +25 °C			Przewody zastosowane w przestrzeniach zewnętrznych					
				w okresie od kwietnia do października			w okresie od listopada do marca		
	Miedziane	Aluminiowe	Stalowo-aluminiowe	Miedziane	Aluminiowe	Stalowo-aluminiowe	Miedziane	Aluminiowe	Stalowo-aluminiowe
[mm ²]	[A]	[A]	[A]	[A]	[A]	[A]	[A]	[A]	[A]
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4	35	-	-	55	-	-	66	-	-
6	40	-	-	75	-	-	80	-	-
10	65	-	-	100	-	-	110	-	-
16	90	75	75	135	110	90	150	125	105
25	120	95	100	175	140	120	200	180	140
35	150	120	125	220	175	145	250	200	175
50	190	155	160	275	220	170	315	255	220
70	240	195	200	340	275	290	390	315	326
95	300	240	250	415	340	350	480	390	395
120	350	280	300	480	385	410	555	445	475
150	400	330	350	645	445	470	630	515	550
185	470	380	405	640	510	535	740	595	630
240	570	455	480	755	605	645	880	705	735
300	665	540	565	850	710	740	990	830	850
350	-	-	635	-	-	810	-	-	950
400	-	-	695	-	-	880	-	-	1035
525	-	-	830	-	-	1030	-	-	1220
670	-	-	975	-	-	1210	-	-	1430
675	-	-	980	-	-	1220	-	-	1450
775	-	-	1085	-	-	1330	-	-	1570
840	-	-	1150	-	-	1450	-	-	1670

Tabl. 4.8. Obciążalność długotrwała przewodów szynowych aluminiowych płaskich przy prądzie przemiennym i temperaturze obliczeniowej +25 °C wg [131]

Wyróżnik oznaczenia	Powierzchnia przekroju jednej szyny [mm ²]	Masa 1 m szyny [kg]	Obciążalność długotrwała przewodów szynowych [A]											
			łączonych przez spawanie						łączonych przez docisk					
			malowanych			niemalowanych			malowanych			niemalowanych		
			liczba szyn			liczba szyn			liczba szyn			liczba szyn		
1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	13	14	15
AP-15x3	45	0,122	230	-	-	175	-	-	180	-	-	135	-	-
AP-20x3	60	0,182	310	-	-	240	-	-	240	-	-	185	-	-
AP-25x3	75	0,202	375	-	-	285	-	-	290	-	-	220	-	-
AP-30x3	90	0,243	445	-	-	335	-	-	345	-	-	260	-	-
AP-40x5	200	0,540	760	1250	-	580	1000	-	590	975	-	450	780	-
AP-40x10	400	1,08	1340	2250	-	995	1800	-	1040	1750	-	790	1400	-
AP-50x5	250	0,675	885	1520	-	670	1220	-	685	1180	-	520	945	-
AP-50x10	500	1,35	1360	2340	-	1050	1820	-	1000	1800	-	810	1400	-
AP-60x5	300	0,81	1050	1770	-	795	1420	-	810	1370	-	615	1100	-
AP-60x10	600	1,62	1520	2650	3500	1180	2100	2900	1180	2050	2700	900	1650	2250
AP-80x5	400	1,08	1340	2250	3100	995	1800	2600	1040	1750	2400	790	1400	2000
AP-80x10	800	2,10	1950	3300	4400	1480	2650	3600	1510	2560	3400	1150	2050	2800
AP-100x10	1000	2,70	2400	3900	5000	1800	3150	4200	1840	3050	3900	1400	2450	3250
AP-120x10	1200	3,24	2800	4450	5800	2100	3550	4850	2150	3450	4500	1640	2750	3750
AP-120x15	1800	4,86	3700	6000	7000	2900	4650	5950	2880	4650	5400	2250	3600	4600

4.2.3. Wytrzymywanie skutków cieplnych prądu zwarciovego

Wybrany przekrój przewodu (szyny) sprawdzamy na wytrzymywanie skutków cieplnych prądu zwarciovego. Sprawdzenia dokonujemy w oparciu o normę PN-EN 60865-1:2002(U) [103]. Przedstawiony w normie sposób sprawdzenia oparto na następujących założeniach upraszczających proces nagrzewania przewodu prądem zwarciovym:

- pomija się wpływ zbliżenia (wpływ magnetyczny pobliskich równoległych przewodów),
- przyjmuje się liniową charakterystykę zmiany rezystancji w funkcji temperatury,
- przyjmuje się stałą wartość ciepła właściwego przewodu,
- zakłada się adiabatyczny charakter nagrzewania.

Przyjęcie pierwszego założenia o pominięciu zjawiska naskórkowości, tzn. przyjęcia, że prąd jest rozłożony równomiernie w całym przekroju przewodu ogranicza zastosowanie tej metody do sprawdzania przekrojów nieprzekraczających 600 mm². Ostatnie założenie, że straty ciepłne z przewodu do otoczenia są bardzo małe uznaje się za słuszne nawet w przypadku powtarzających się zwarć z krótkimi przerwami bezprądowymi np. przy szybkim SPZ.

W celu określenia stopnia nagrzania przewodu zmieniający się w czasie rzeczywisty prąd zwarciovym zastępujemy zwarciovym prądem cieplnym I_{th} zgodnie ze wzorem:

$$I_{th} = I_k'' \cdot \sqrt{m + n} \quad (4.17)$$

gdzie:

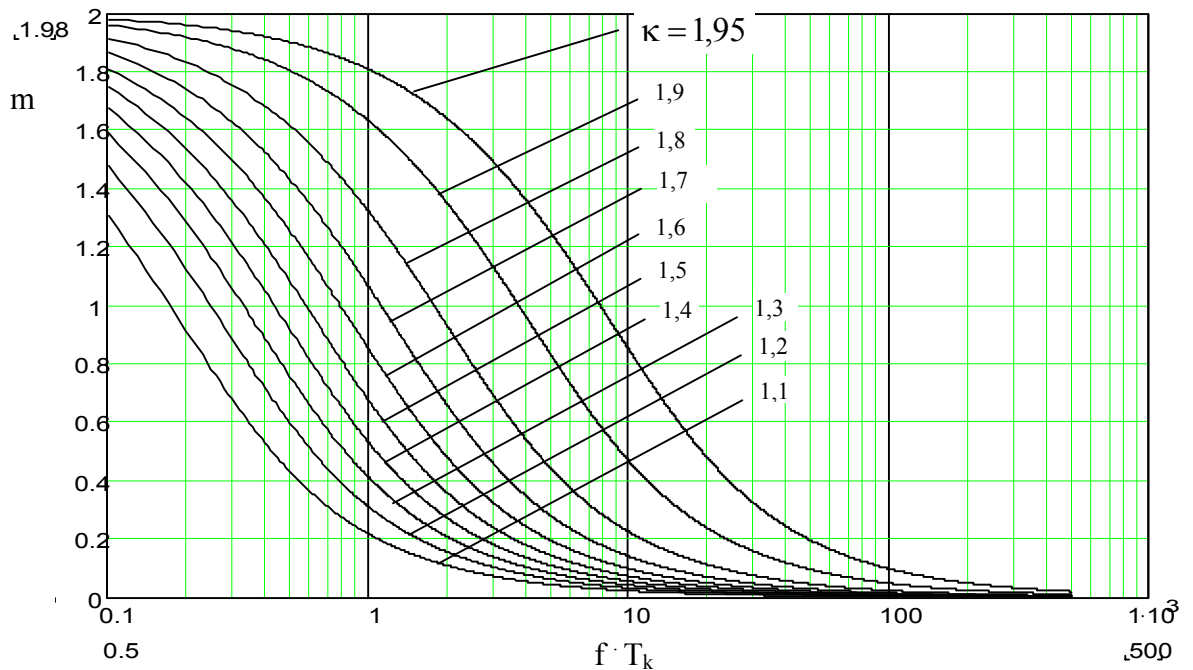
- m - współczynnik uwzględniający wpływ zmian składowej nieokresowej prądu zwarciovego na nagrzewanie się przewodu,
- n - współczynnik uwzględniający wpływ zmian składowej okresowej prądu zwarciovego na nagrzewanie się przewodu,
- I_k'' - wartość skuteczna składowej okresowej początkowej prądu zwarciovego.

Współczynnik m wyznacza się w oparciu o rys. 4.14 w funkcji:

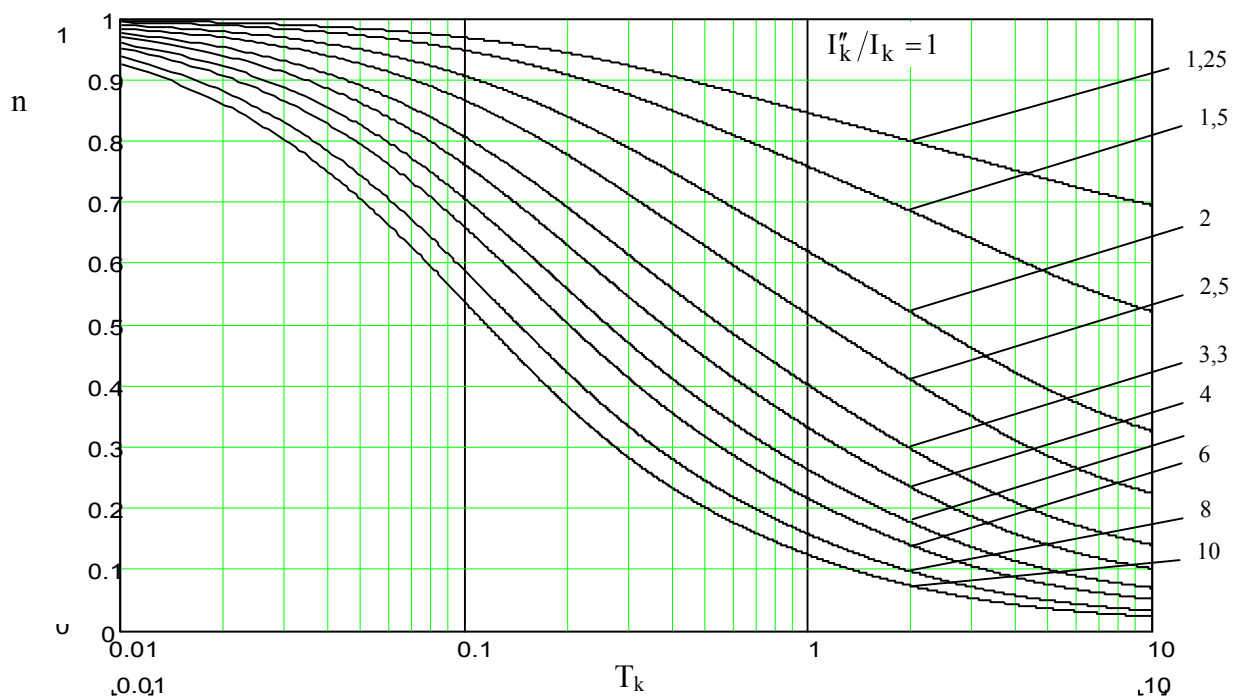
- czasu trwania zwarcia T_k ,
- współczynnika udarowego prądu zwarciovego κ .

Współczynnik n wyznacza się w oparciu o rys. 4.15 w funkcji:

- czasu trwania zwarcia T_k ,
- stosunku $\frac{I_k''}{I_k}$, przy czym I_k jest wartością skuteczną ustalonego prądu zwarciovego.



Rys. 4.14. Współczynnik m uwzględniający wpływ zmian składowej nieokresowej prądu zwarciovego na nagrzewanie się przewodu



Rys. 4.15. Współczynnik n uwzględniający wpływ zmian składowej okresowej prądu zwarciego na nagrzewanie się przewodu

Dla zwarć odległych $\frac{I_k''}{I_k} = 1$, a zatem $n=1$. W normie [103] współczynniki m oraz n są podane także w formie analitycznej:

- współczynnik m

$$m = \frac{1}{2 \cdot f \cdot T_k \cdot \ln(\kappa - 1)} \cdot \left[e^{4 \cdot f \cdot T_k \cdot \ln(\kappa - 1)} - 1 \right] \quad (4.18)$$

- współczynnik n

$$\text{dla } \frac{I_k''}{I_k} = 1 \quad n=1,$$

$$\text{dla } \frac{I_k''}{I_k} \geq 1,25$$

$$\begin{aligned}
n = \frac{1}{\left(\frac{I_k''}{I_k}\right)^2} & \left[1 + \frac{T_d'}{20 \cdot T_k} \left(1 - e^{-20 \cdot T_k / T_d'} \right) \cdot \left(\frac{I_k''}{I_k} - \frac{I_k'}{I_k} \right)^2 + \frac{T_d'}{2 \cdot T_k} \left(1 - e^{-2 \cdot T_k / T_d'} \right) \cdot \left(\frac{I_k''}{I_k} - 1 \right)^2 + \right. \\
& + \frac{T_d'}{5 \cdot T_k} \left(1 - e^{-20 \cdot T_k / T_d'} \right) \cdot \left(\frac{I_k''}{I_k} - \frac{I_k'}{I_k} \right) + \frac{2 \cdot T_d'}{T_k} \left(1 - e^{-T_k / T_d'} \right) \cdot \left(\frac{I_k'}{I_k} - 1 \right) + \\
& \left. + \frac{T_d'}{5,051 \cdot T_k} \left(1 - e^{-10 \cdot T_k / T_d'} \right) \cdot \left(\frac{I_k''}{I_k} - \frac{I_k'}{I_k} \right) \cdot \left(\frac{I_k'}{I_k} - 1 \right) \right] \quad (4.19)
\end{aligned}$$

przy czym:

$$\frac{I_k'}{I_k} = \frac{\frac{I_k''}{I_k}}{0,88 + 0,17 \cdot \frac{I_k''}{I_k}} \quad (4.20)$$

$$T_d' = \frac{3,1}{\frac{I_k''}{I_k}} \quad (4.21)$$

W przypadku stosowania automatyki SPZ o krótkich czasach przerwy beznapięciowej, zastępczy ciepły prąd zwarcia oblicza się ze wzoru:

$$I_{th} = \sqrt{\frac{1}{T_k} \sum_{i=1}^n \left(I_{thi}^2 \cdot T_{ki} \right)} \quad (4.22)$$

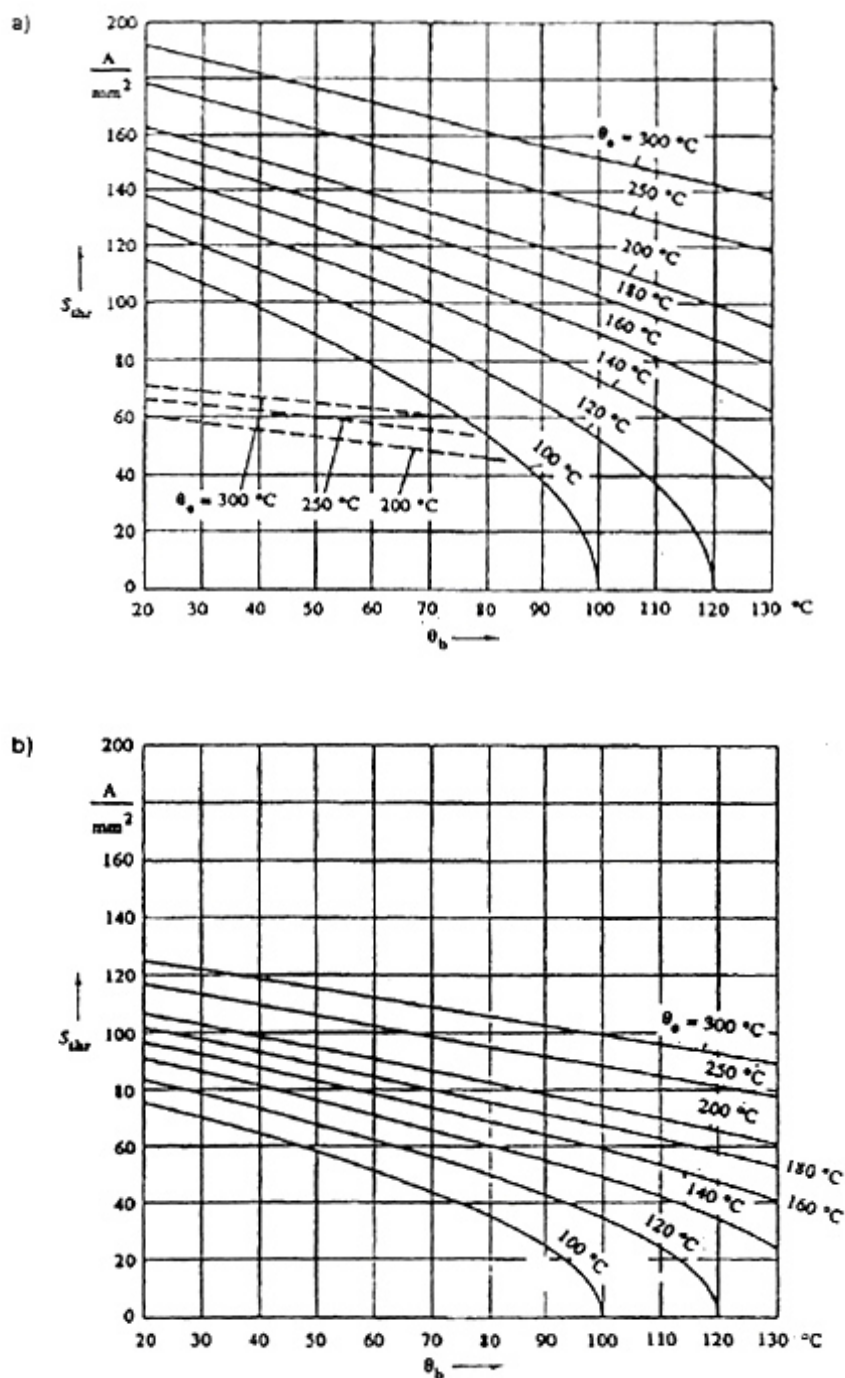
$$T_k = \sum_{i=1}^n T_{ki} \quad (4.23)$$

Wytrzymałość cieplną przewodów szynowych, ze względu na adiabatyczny charakter zjawiska określa się niezależnie od jego przekroju podając gęstość znamionowego prądu krótkotrwałego wytrzymywanego w zależności od materiału przewodu i jego temperatury w momencie wystąpienia zwarcia v_a dla czasu trwania zwarcia $T_{kr}=1$ s oraz różnych temperatur przewodu na końcu zwarcia v_e . Norma zaleca przyjmować najwyższe temperatury przewodu przy zwarcu:

- dla przewodów Cu, Al i stopów Al 200 °C,
- dla przewodów stalowych 300 °C.

Wytrzymałość cieplna gołych przewodów szynowych podczas zwarcia jest dostateczna, gdy gęstość zastępczego ciepłego prądu zwarciovego spełnia zależność:

$$S_{th} \leq S_{thr} \sqrt{\frac{T_{kr}}{T_k}} \quad (4.24)$$



Rys. 4.16. Zależność gęstości znamionowego prądu krótkotrwałego wytrzymywanego ($T_{kr}=1$ s) od temperatury przewodu:

- a) dla przewodów:
- linie ciągłe - przewody miedziane,
 - linie przerywane - płaskowniki ze stali niestopowej i linki stalowe, przewody z aluminium, ze stopów aluminium oraz linki stalowo-aluminiowe.
- b) dla przewodów: aluminiowych, AFl oraz alloyowch.

$$S_{th} = \frac{I_{th}}{A} \quad (4.25)$$

gdzie:

- A - przekrój przewodu w [mm²],
- S_{th} - gęstość zastępczego cieplnego prądu zwarciego w $\left[\frac{A}{mm^2} \right]$,
- S_{thr} - dopuszczalna gęstość prądu zwarciego odczytana z rys. 4.16.

Dopuszczalną gęstość prądu zwarciego można wyznaczyć z wzorów:

$$S_{thr} = \frac{K}{\sqrt{I_{kr}}} \quad (4.26)$$

$$K = \sqrt{\frac{\kappa_{20} \cdot c \cdot \rho}{\alpha_{20}} \cdot \ln \left[\frac{1 + \alpha_{20} \cdot (\Theta_e - 20)}{1 + \alpha_{20} \cdot (\Theta_b - 20)} \right]} \quad (4.27)$$

Występujące w powyższych dwóch wzorach dane materiałowe są podane w tabl. 4.9.

Jeżeli temperatura otoczenia jest inna niż 20 °C to trzeba to uwzględnić we wzorze 4.27. W postanowieniach już nieaktualnej normy PN-90/E095925 było pozwolenie na uproszczenie i złagodzenie warunków doboru poprzez przyjęcie:

- temperatury przewodu przed zwarcie równej 50 °C,
 - najwyższej temperatury przewodu podczas zwarcia równej 300 °C, jeżeli nie powoduje to uszkodzenia materiałów izolacyjnych stykających się z przewodem,
- co umożliwia przyjęcie znamionowej gęstości prądu krótkotrwałego wytrzymywanego równej:

- dla przewodów miedzianych 175 A/mm²,
- dla przewodów aluminiowych 95 A/mm².

Tabl. 4.9 Dane materiałowe potrzebne do wyznaczania dopuszczalnej gęstości prądu zwarciego

Symbol	Jednostka	Miedź	Aluminium, stopy aluminium oraz linki stalowo-aluminiowe	Stal
c	$\left[\frac{J}{kg \cdot ^\circ C} \right]$	390	910	480
ρ	$\left[\frac{kg}{m^3} \right]$	8900	2700	7850
κ ₂₀	$\left[\frac{1}{\Omega \cdot m} \right]$	56*10 ⁶	34,8*10 ⁶	7,25*10 ⁶
α ₂₀	$\left[\frac{1}{^\circ C} \right]$	0,0039	0,004	0,0045

4.2.4. Wytrzymałość mechaniczną przy obciążeniach normalnych

Wytrzymałość mechaniczną w normalnych warunkach pracy ustala się tylko dla przewodów giętkich zastosowanych w rozdzielniach napowietrznych w identyczny sposób jak wykonuje się to dla linii napowietrznych. Ze względu na niewielkie długości przeseł szyn zbiorczych w stacjach napowietrznych są stosowane nieduże naciągi przewodów, a względy wytrzymałości mechanicznej przewodów nie odgrywają istotnej roli.

4.2.5. Wytrzymałość mechaniczna przy zwarciu dla przewodów sztywnych

4.2.5.1. Wyznaczanie sił

Sprawdzenie wytrzymałości mechanicznej przewodu sztywnego przy przepływie prądu zwarciovego polega na obliczeniu siły powodowanej przez te prądy, następnie naprężenia przez nie wywoływanego i porównaniu tego naprężenia z naprężeniami dopuszczalnymi. Naprężenia zwarciove oblicza się uwzględniając drgania przewodu podczas zwarcia. Dokonuje się tego korygując naprężenia obliczone przy założeniu całkowitej sztywności przewodów za pomocą odpowiednich współczynników zależnych od częstotliwości drgań własnych przewodów szynowych. Siła między dwoma przewodami wiodącymi prąd jest proporcjonalna do kwadratu wartości prądu lub iloczynu dwóch prądów. Ponieważ prąd zwarciovy jest zależny od czasu, siła jest także funkcją czasu. W przypadku prądu zwarciovego bez uwzględnienia składowej nieokresowej siła zmienia się z częstotliwością podwójną w stosunku do częstotliwości prądu. Składowa nieokresowa powoduje jedynie zwiększenie wartości szczytowej siły oraz występowanie składowej siły zmieniającej się z częstotliwością prądu. Wartość szczytowa siły ma szczególne znaczenie w przypadku przewodów sztywnych. Skutkiem działania tej siły powstają naprężenia zginające w przewodach szynowych oraz zginanie, ściskanie lub rozciąganie izolatorów wsporczych. W przypadku przewodów sztywnych pasmowych oblicza się naprężenia spowodowane siłami powstającymi między przewodami szynowymi fazowymi oraz naprężenia spowodowane siłami działającymi między poszczególnymi pasmami tej samej fazy. Obliczenia sprawdzające wytrzymałość mechaniczną szyn sztywnych zostanie przeprowadzona w oparciu o normę PN-EN 60865-1:2002(U) [103].

W układach trójfazowych i przy zwarciu trójfazowym, w przypadku przewodów fazowych pojedynczych usytuowanych w jednej płaszczyźnie i w równych odstępach największa siła występuje w środkowym przewodzie fazowym i jest równa:

$$F_{m3} = \frac{\mu_0}{2 \cdot \Pi} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot (i_{p3})^2 \cdot \frac{1}{a_m} \quad [\text{N}] \quad (4.28)$$

gdzie:

- μ_0 - przenikalność magnetyczna próżni w [H/m] i wynosząca $\mu_0 = 4 \cdot \Pi \cdot 10^{-7} \left[\frac{\text{H}}{\text{m}} \right]$,
- i_{p3} - prąd zwarciovy udarowy zwarcia trójfazowego w [A],
- l - odległość między osiami podpór (izolatorów wsporczych) w [m],
- a_m - odstęp obliczeniowy między osiami przewodów w [m].

Występujący we wzorze (4.28) współczynnik $\frac{\sqrt{3}}{2}$ uwzględnia niejednoczesność występowania amplitud prądów zwarciovych w czasie. Przy zwarciu dwufazowym, w przypadku

przewodów fazowych pojedynczych usytuowanych w jednej płaszczyźnie i w równych odstępach siła jest równa:

$$F_{m2} = \frac{\mu_0}{2 \cdot \Pi} \cdot (i_{p2})^2 \cdot \frac{1}{a_m} \quad [\text{N}] \quad (4.29)$$

Z porównania tych dwóch wzorów wynika, że

$$F_{m2} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot F_{m3} \quad [\text{N}] \quad (4.30)$$

W przypadku przewodów szynowych wielopasmowych (pakietowych) siła działająca na skrajny przewód składowy wyraża się wzorem:

$$F_s = \frac{\mu_0}{2 \cdot \Pi} \cdot \left(\frac{i_{p3}}{n} \right)^2 \cdot \frac{l_s}{a_s} \quad [\text{N}] \quad (4.31)$$

gdzie:

- n - liczba przewodów składowych w przewodzie fazowym,
- l_s - odległość między odstępnikami lub przekładkami w [m],
- a_s - odstęp obliczeniowy między osiami przewodów składowych w [m].

Odstęp obliczeniowy a_m (a_s) uwzględnia okoliczność, że są stosunkowo duże wymiary poprzeczne przewodów szynowych w stosunku do ich wzajemnej odległości i w związku z tym zróżnicowanie oddziaływania na poszczególne fragmenty przewodów. Dla przewodów pojedynczych o przekroju prostokątnym, gdy obwód przewodu jest mniejszy od odległości między osiami przewodów lub, gdy szyny mają przekrój kołowy, można przyjąć, że:

$$a_m = a \quad (4.32)$$

Praktycznie uproszczenie to można zawsze przyjmować dla oddziaływań międzyfazowych między szynami rozdzielni wysokiego napięcia. Jeżeli uproszczenia tego nie można przyjąć to odległość a_m wynosi:

$$a_m = \frac{a}{k_{12}} \quad (4.33)$$

Współczynniki k_{12} (współczynnik uwzględniający wpływ zbliżenia i kształtu przewodów, tzw. współczynnik Dwight'a) wyznacza się z wykresu podanego w normie i na rys. 4.17 lub wzoru (4.38), przyjmując, że:

$$k_{12} = k_{1s} \quad (4.34)$$

$$a_{1s} = a \quad (4.35)$$

W przypadku przewodów szynowych wielopasmowych (pakietowych) przy obliczaniu oddziaływań między szynami:

a) Głównymi oblicza się zastępczy odstęp obliczeniowy między osiami przewodów głównych stosując wzór (4.33), przyjmując do wyznaczenia wielkości k_{12} z rys. 4.17 zastępcze wymiary szyn złożonych b_m oraz d_m zamiast b oraz d obliczone zgodnie z rys. 4.18.

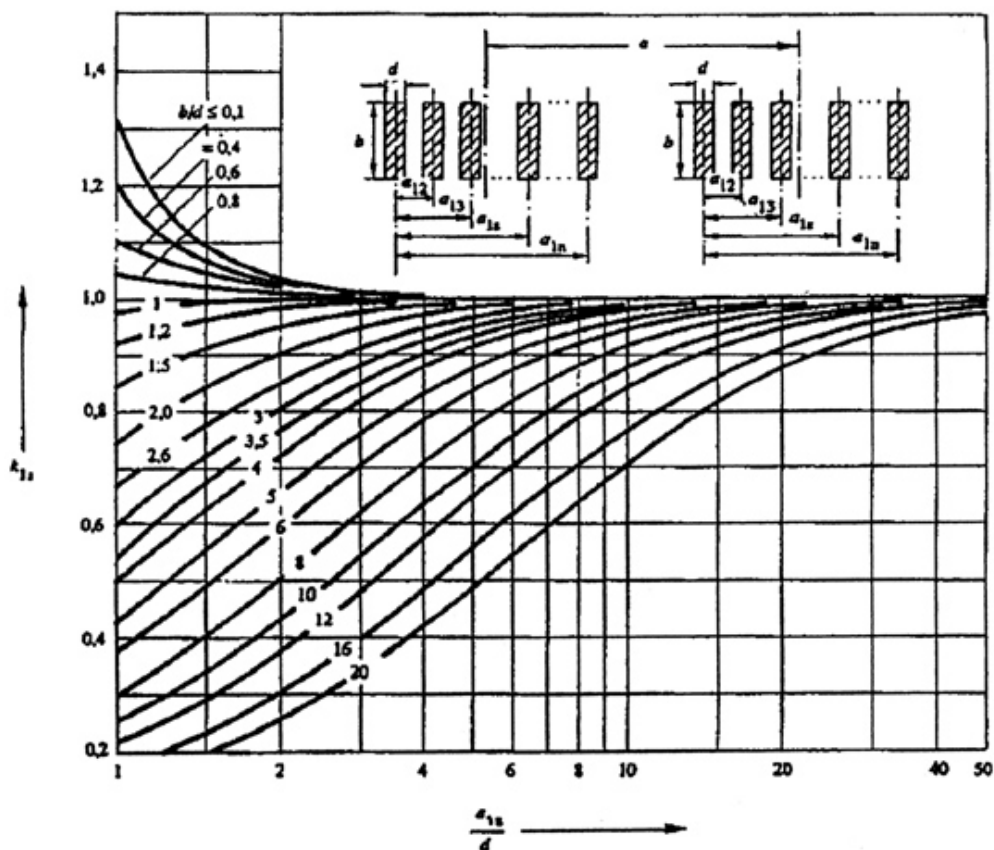
b) Składowymi odstęp między osiami przewodów składowych wyznacza się następująco:

- dla przekroju kołowego:

$$\frac{1}{a_s} = \frac{1}{a_{12}} + \frac{1}{a_{13}} + \dots + \frac{1}{a_{1n}} \quad (4.36)$$

- dla przekroju prostokątnego:

$$\frac{1}{a_s} = \frac{k_{12}}{a_{12}} + \frac{k_{13}}{a_{13}} + \dots + \frac{k_{1n}}{a_{1n}} \quad (4.37)$$



Rys. 4.17. Współczynnik k_{1s} dla wyznaczenia odstęp obliczeniowy między osiami przewodów

W normie [103] współczynnik k_{1s} jest również podany w formie analitycznej:

$$k_{1s} = \left\{ - \left[\frac{(a/d)+1}{(b/d)} \right]^3 \cdot \ln \frac{[(a/d)+1]^2 + (b/d)}{[(a/d)+1]^2} + 2 \cdot \left[\frac{(a/d)}{(b/d)} \right]^3 \cdot \ln \frac{(a/d)^2 + (ab/d)^2}{(a/d)^2} \right\} \quad (4.38)$$

$$\begin{aligned}
 & - \left[\frac{(a/d)-1}{(b/d)} \right]^3 \cdot \ln \frac{[(a/d)-1]^2 + (b/d)^2}{[(a/d)-1]^2} + 3 \cdot \left[\frac{(a/d)}{(b/d)} \cdot \ln \frac{[(a/d)+1]^2 + (b/d)^2}{(a/d)^2 + (b/d)^2} + \right. \\
 & \left. + \frac{1}{(b/d)} \cdot \ln \frac{[(a/d)+1]^2 + (b/d)^2}{[(a/d)-1]^2 + (ab/d)^2} - \frac{(a/d)}{(b/d)} \cdot \ln \frac{(a/d)^2 + (b/d)^2}{[(a/d)-1]^2 + (b/d)^2} \right] + \\
 & + 6 \cdot \left[\left(\frac{(a/d)+1}{(b/d)} \right)^2 \cdot \arctan \frac{(ab/d)}{(a/d)+1} - 2 \cdot \left(\frac{(a/d)}{(b/d)} \right)^2 \cdot \arctan \frac{(b/d)}{(a/d)} + \left(\frac{(a/d)-1}{(b/d)} \right)^2 \cdot \arctan \frac{(b/d)}{(a/d)-1} \right] + \\
 & + \left[\arctan \frac{(a/d)+1}{(b/d)} - 2 \cdot \arctan \frac{(a/d)}{(b/d)} + 2 \cdot \arctan \frac{(a/d)-1}{(b/d)} \right] \cdot \frac{(a/d)-(b/d)}{6}
 \end{aligned}$$



Rys. 4.18. Zastępcze wymiary szyn złożonych dla: a) poziomego, b) pionowego ustawienia szyn

4.2.5.2. Wyznaczanie naprężeń

Przewody szynowe mogą być zamocowane w różny sposób, sztywny, przegubowy albo pośredni oraz mogą mieć dwie, trzy, cztery lub więcej podpór. W zależności od rodzaju i liczby podpór naprężenia w przewodach będą różne przy tym samym prądzie zwarciovym. Dla przewodów sztywnych zakłada się, że siły poosiowe są pomijalne i naprężenia wywołane przez oddziaływania międzyfazowe dla przewodu pojedynczego można obliczyć następująco:

$$\sigma_m = V_\sigma \cdot V_r \cdot \beta \cdot \frac{F_{m3} \cdot l}{8 \cdot Z} \quad \left[\frac{N}{m^2} \right] \quad (4.39)$$

gdzie:

- Z - wskaźnik wytrzymałości przewodu w $[m^3]$,
- V_σ, V_r - współczynniki uwzględniające charakter dynamiczny zjawiska,
- β - współczynnik uwzględniający sposób zamocowania przewodu szynowego wyznaczany z tabl. 4.10.

W przypadku przewodów szynowych wielopasmowych (pakietowych) naprężenia zginające działające między szynami jednej fazy można obliczyć następująco:

$$\sigma_s = V_{\sigma s} \cdot V_{r s} \cdot \frac{F_s \cdot l_s}{16 \cdot Z_s} \quad (4.40)$$

W przypadku przewodów szynowych wielopasmowych (pakietowych) całkowite naprężenia zginające można obliczyć następująco:

$$\sigma_{\text{tot}} = \sigma_m + \sigma_s \quad (4.41)$$

Współczynniki V_σ , V_{σ_s} , V_r oraz V_{rs} zależą od stosunku f_c/f (sposób wyznaczania tego współczynnika zostanie omówiony w rozdziale 4.2.5.3) i od tłumienia mechanicznego przewodów. Dla praktycznych obliczeń można wyznaczyć te współczynniki z rys. 4.19 i rys. 4.20 lub tabl. 4.11 i z wzorów (4.44), (4.45). Wartości maksymalne tych wielkości można wyznaczyć bez uwzględniania częstotliwości drgań przewodów w sposób uproszczony, a mianowicie:

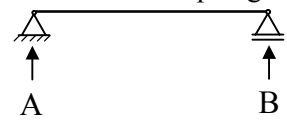
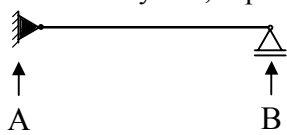
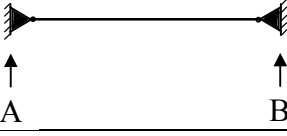
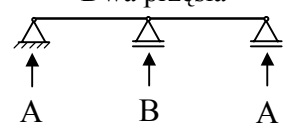
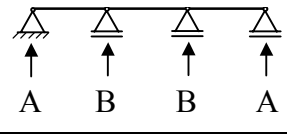
- dla przypadku bez SPZ

$$V_\sigma \cdot V_r = V_{\sigma_s} \cdot V_{rs} = 1,0 \quad (4.42)$$

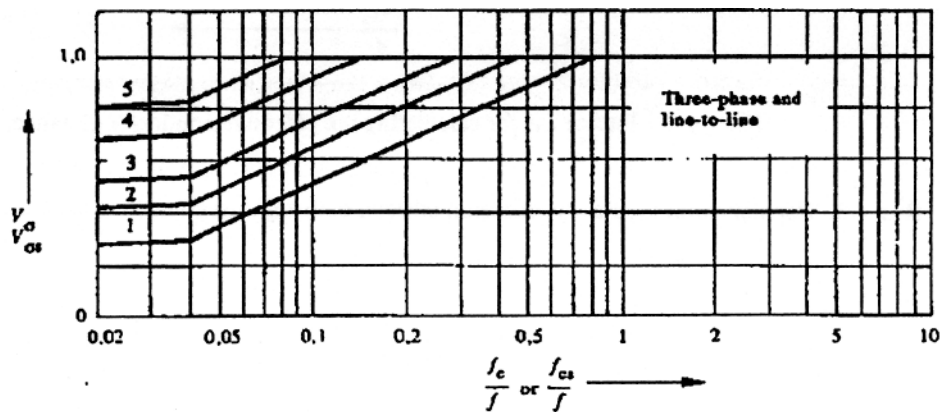
- dla przypadku z SPZ

$$V_\sigma \cdot V_r = V_{\sigma_s} \cdot V_{rs} = 1,8 \quad (4.43)$$

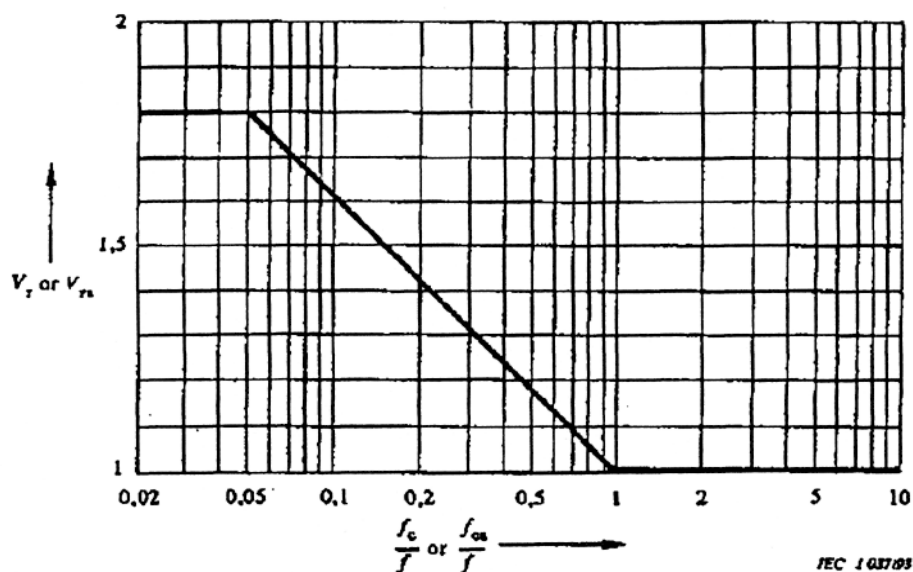
Tabl. 4.10. Współczynniki α , β , γ dla różnych układów podpór i rodzajów zamocowania

Typ szyny i podpór		Współczynnik α	Współczynnik β	Współczynnik γ
Przęsło pojedyncze szyny	A i B zamocowane przegubowo 	A: 0,5 B: 0,5	1,0	1,57
	A zamocowana sztywno, B przegubowo 	A: 0,625 B: 0,375	0,73	2,45
	Podpory A i B zamocowane sztywno 	A: 0,5 B: 0,5	0,5	3,56
Szyna ciągła z równomiernie rozłożonymi podporami	Dwa przęsła 	A: 0,375 B: 1,25	0,73	2,45
	Trzy lub więcej przęseł 	A: 0,4 B: 1,1	0,73	3,56

- 1) Przęsła o niejednakowych długościach belek mogą być obliczane z dostateczną dokładnością przy przyjęciu do obliczeń długości największego przęsła. Oznacza to, że wówczas:
- 1) przęsła końcowe nie są bardziej obciążone niż przęsła środkowe,
 - 2) różnice długości przęseł sąsiadujących ze sobą nie powinny przekraczać 20%, jeżeli jest to niemożliwe do osiągnięcia, przewody powinny być dzielone z zastosowaniem połączeń elastycznych.
- 2) Wartości współczynnika β dobrano tak, aby występowało dopuszczalne odkształcenie plastyczne i tak, aby można było stosować te same wartości współczynnika q dla wszystkich układów przewodów - podpory.



Rys. 4.19. Współczynniki V_σ i V_{σ_s} , dla: 1 - $\kappa \geq 1,60$; 2 - $\kappa = 1,40$; $\kappa = 1,25$; $\kappa = 1,10$; $\kappa = 1,00$



Rys. 4.20. Współczynniki V_r i V_{rs}

Tabl. 4.11. Wartości współczynnika V_σ

$\frac{f_c}{f}$	Współczynnik V_σ
$< 0,04$	$0,0929 + 4,49 \cdot e^{-1,68 \cdot \kappa} + 0,0664 \cdot \lg(f_c/f)^1$
$0,04 \div 0,8$	Wartość maksymalna z dwóch poniższych wartości V_{σ_1} oraz V_{σ_2}
	$V_{\sigma_1} = 0,756 + 4,49 \cdot e^{-1,68 \cdot \kappa} + 0,54 \cdot \lg(f_c/f)^1$
	$V_{\sigma_2} = 1,0$
$> 0,8$	1,0

¹⁾ Jeśli $\kappa > 1,6$ wtedy należy przyjąć, że $\kappa = 1,6$.

Gdy obliczamy V_{os} to należy wykorzystać te same równania, lecz zamiast f_c/f wstawić wielkość f_{cs}/f .

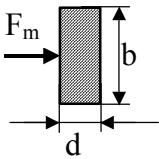
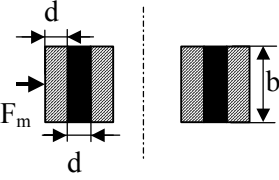
Wartości współczynnika V_r oraz V_{rs} wyraża się następującymi wzorami:

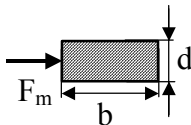
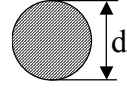
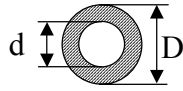
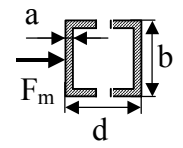
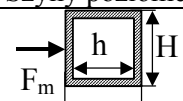
$$V_r = \begin{cases} 1,8 & \text{dla } f_c/f \leq 0,05 \\ 1,0 - 0,615 \cdot \lg(f_c/c) & \text{dla } 0,05 < f_c/f < 1,0 \\ 1,0 & \text{dla } f_c/f \geq 1,0 \end{cases} \quad (4.44)$$

$$V_{rs} = \begin{cases} 1,8 & \text{dla } f_{cs}/f \leq 0,05 \\ 1,0 - 0,615 \cdot \lg(f_{cs}/c) & \text{dla } 0,05 < f_{cs}/f < 1,0 \\ 1,0 & \text{dla } f_{cs}/f \geq 1,0 \end{cases} \quad (4.45)$$

Wskaźnik wytrzymałości Z (Z_s) należy obliczać w zależności od kierunku działania siły na szynę, typu szyny, jej wymiarów i można go obliczyć zgodnie z tabl. 4.12.

Tabl. 4.12. Wskaźnik wytrzymałości Z oraz moment bezwładności J szyny

Przekrój szyny	Liczba szyn	Przekładki	Wskaźnik wytrzymałości szyn Z	Moment bezwładności J
	1	---	$\frac{d^2 \cdot b}{6}$	$\frac{d^3 \cdot b}{12}$
	2	brak	$\frac{d^2 \cdot b}{3}$	$\frac{d^3 \cdot b}{6}$
	2	obecne	$0,867 \cdot d^2 \cdot b$	$\frac{d^3 \cdot b}{12}$
	3	brak	$\frac{d^2 \cdot b}{2}$	$\frac{d^3 \cdot b}{4}$
	3	obecne	$1,98 \cdot d^2 \cdot b$	$\frac{d^3 \cdot b}{12}$
	4	obecne	$3,48 \cdot d^2 \cdot b$	$\frac{d^3 \cdot b}{12}$
	4	obecne	$1,73 \cdot d^2 \cdot b$	---

	1	---	$\frac{d \cdot b^2}{6}$	$\frac{d \cdot b^3}{12}$
	2	brak	$\frac{d \cdot b^2}{3}$	$\frac{d \cdot b^3}{6}$
	3	brak	$\frac{d \cdot b^2}{2}$	$d \cdot b^3$
	1	---	$\frac{\pi}{32} \cdot d^2 = 0,098 \cdot d^2$	$\frac{\pi}{64} \cdot d^3$
	1	---	$\frac{\pi}{32} \cdot \frac{D^4 - d^4}{D} = 0,098 \cdot \frac{D^4 - d^4}{D}$	$\frac{\pi}{64} \cdot (D^4 - d^4)$
 <p>Szyny poziome</p>	1	---	$\frac{d^2 \cdot b - (d - 2 \cdot a)^2 \cdot b}{6}$	---
	1	---	$\frac{H^4 - h^4}{6 \cdot H}$	$\frac{H^4 - h^4}{12}$

4.2.5.3. Sprawdzenie wytrzymałości mechanicznej

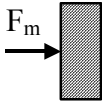
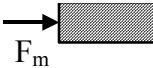
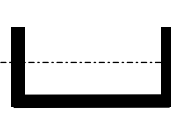
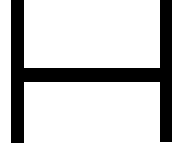


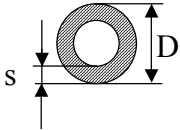
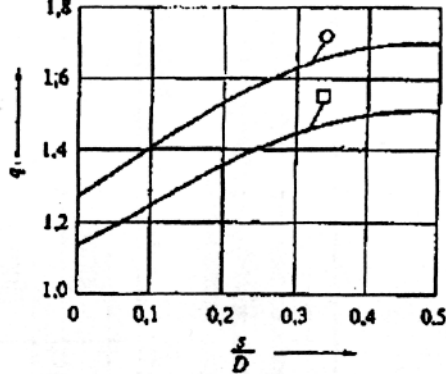
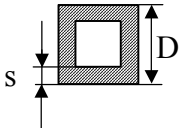
W przypadku pojedynczego przewodu warunk właściwe doboru szyny sztywnej a więc wytrzymywania sił mechanicznych podczas zwarcia jest postaci:

$$\sigma_m \leq q \cdot R_{p0,2} \left[\frac{N}{m^2} \right] \quad (4.46)$$

gdzie:

- q - współczynnik plastyczności zgodnie z tabl. 4.13,
- $R_{p0,2}$ - granica plastyczności przewodu w $\left[\frac{N}{m^2} \right]$

Tabl. 4.13. Wartości współczynnika q dla różnych przekrojów przewodu

Przekrój	Przekrój
  $q=1,5$	  $q=1,83$
 $q=1,7$	 $q=2,0$
 $q = 1,7 \cdot \frac{1 - (1 - 2 \cdot s/D)^3}{1 - (1 - 2 \cdot s/D)^4}$	
 $q = 1,5 \cdot \frac{1 - (1 - 2 \cdot s/D)^3}{1 - (1 - 2 \cdot s/D)^4}$	

Przewód złożony powinien spełnić poniższy warunek:

$$\sigma_{\text{tot}} \leq q \cdot R_{p0,2} \left[\frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right] \quad (4.47)$$

Konieczne jest również sprawdzenie, czy prąd zwarciovowy nie spowoduje nadmiernego zbliżenia się przewodów składowych, co zapewnia spełnienie warunku:

$$\sigma_s \leq R_{p0,2} \left[\frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right] \quad (4.48)$$

4.2.5.4. Wyznaczanie częstotliwości drgań własnych szyn

Naprężenia w przewodach zależą również od stosunku częstotliwości drgań własnych szyn f_c do częstotliwości prądu f . Zwłaszcza w przypadku rezonansu lub w pobliżu rezonansu mogą ulec zwiększeniu. Częstotliwość drgań własnych pojedynczej szyny można wyznaczyć ze wzoru:

$$f_c = \frac{\gamma}{l^2} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot J}{m'}} \quad [\text{Hz}] \quad (4.49)$$

gdzie:

- γ - współczynnik zależny od sposobu zamocowania przewodu i liczby podpór,
- E - moduł Younga w $[\text{N}/\text{m}^2]$,
- J - moment bezwładności przewodu fazowego w $[\text{m}^4]$,
- m' - masa przewodu fazowego na jednostkę długości w $[\text{kg}/\text{m}]$.

Wartości współczynnika γ podane są w tabl. 4.10 zgodnie z normą [103]. Moment bezwładności J oraz masę jednostkową przewodu można odczytać z normy PN-72/E-90039 [47], co zostało podane w tabl. 4.6. Jeżeli zastosowano szyny wielopasmowe o przekroju prostokątnym to częstotliwość drgań własnych głównej szyny można wyznaczyć ze wzoru:

$$f_c = c \cdot \frac{\gamma}{l^2} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot J_s}{m'_s}} \quad [\text{Hz}] \quad (4.50)$$

Częstotliwość drgań własnych szyn składowych wyznaczamy ze wzoru:

$$f_{cs} = \frac{3,56}{l_s^2} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot J_s}{m'_s}} \quad [\text{Hz}] \quad (4.51)$$

Wartości współczynnika c odczytujemy przy:

- pionowym ułożeniu szyn wielopasmowych i dla pręseł z przekładkami z rys 4.21,
- pionowym ułożeniu szyn wielopasmowych i dla pręseł z odstępnikami z rys 4.22,
- poziomym ułożeniu szyn wielopasmowych z rys 4.22.

Współczynnik c można też wyznaczyć z wzoru (4.52).

$$c = \frac{c_c}{\sqrt{1 + \xi_m \cdot \frac{m_z}{n \cdot m'_s \cdot l}}} \quad (4.52)$$

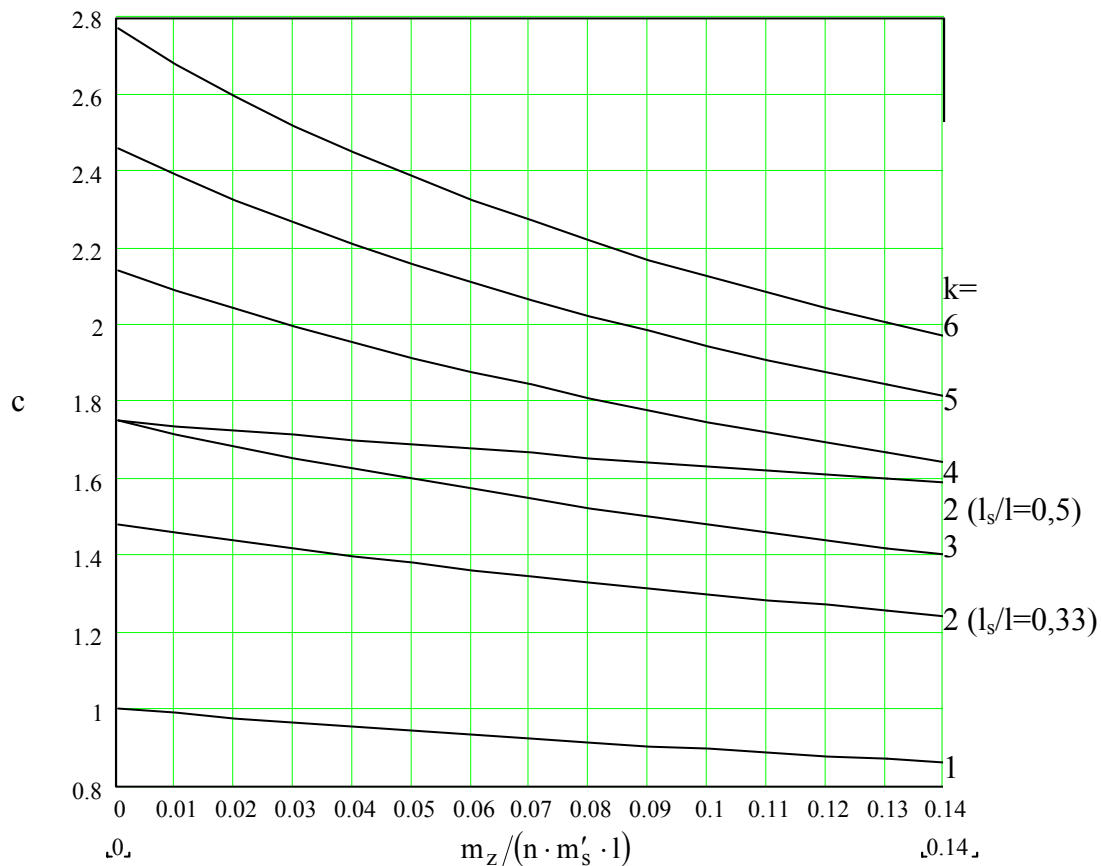
gdzie:

- c_c, ξ_m - współczynniki pomocnicze zawarte są w tabl. 4. 14,
- m_z - masa odstępników $[\text{kg}]$.

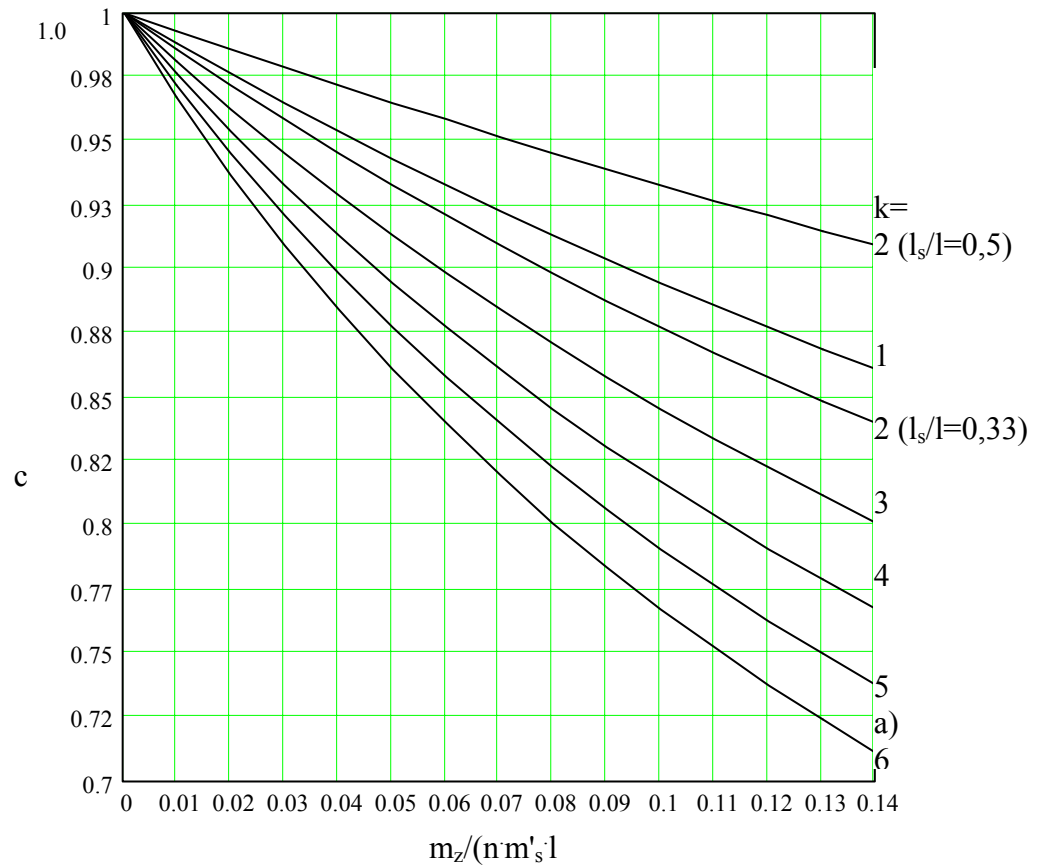
Tabl. 4.14. Współczynniki pomocnicze do obliczenia współczynnika c

k	l_s/l	ξ_m	c_c	
			rys. 4.20	rys. 4.21
0	-	0	1,0	1,0
1	0,5	2,5	1,0	
2	0,33	3,0	1,48	
2	0,5	1,5	1,75	
3	0,25	4,0	1,75	
4	0,2	5,0	2,14	

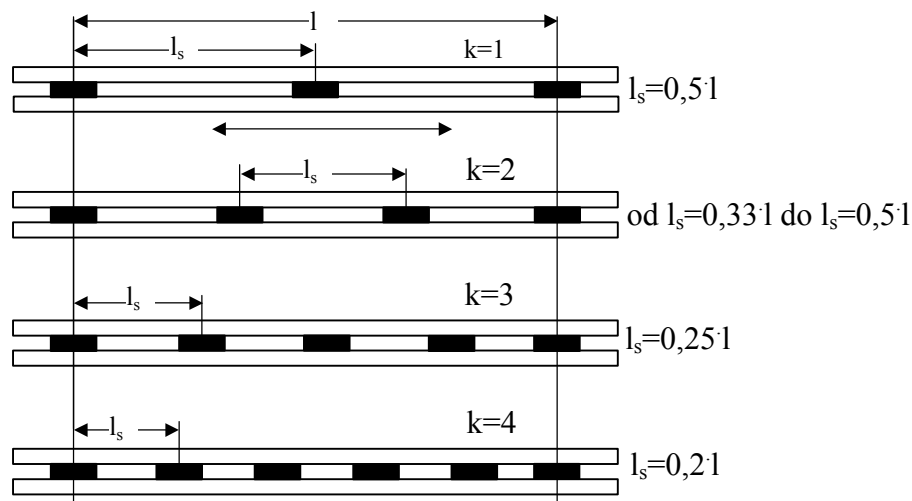
5	0,17	6,0	2,46
6	0,14	7,0	2,77



Rys. 4.21. Wartość współczynnika c dla pręseł z przekładkami



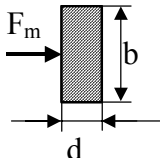
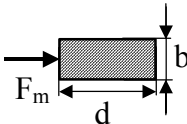
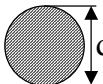
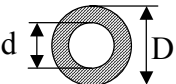
Rys. 4.22. Wartość współczynnika c dla pręseł z odstępnikami



Rys. 4.23. Ułożenie przekładek, odstępników w pręśle

Częstotliwość drgań własnych pojedynczej szyny można wyznaczyć w oparciu o uproszczone wzory zwarte w tabl. 4.15.

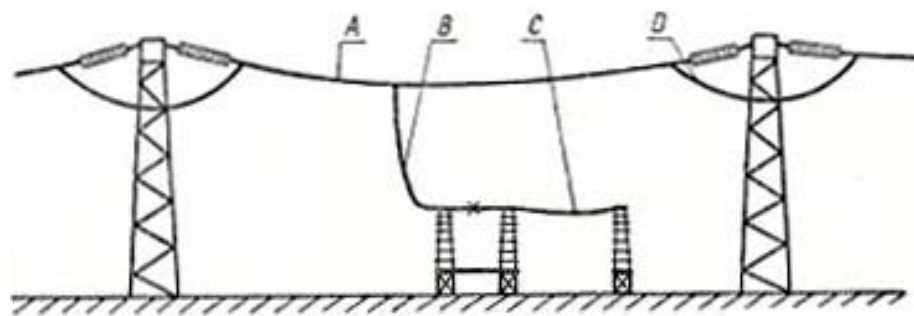
Tabl. 4.15. Częstotliwość w [Hz] drgań własnych pojedynczej szyny sztywno umocowanej na obu końcach (wymiary w [cm]) [34]

Materiał/Przekrój szyny				
Miedź	$3,67 \cdot 10^5 \cdot \frac{d}{l^2}$	$3,67 \cdot 10^5 \cdot \frac{d}{l^2}$	$3,13 \cdot 10^5 \cdot \frac{d}{l^2}$	$3,13 \cdot 10^5 \cdot \frac{\sqrt{D^2 + d^2}}{l^2}$
Aluminium	$5,20 \cdot 10^5 \cdot \frac{d}{l^2}$	$5,20 \cdot 10^5 \cdot \frac{d}{l^2}$	$4,48 \cdot 10^5 \cdot \frac{d}{l^2}$	$4,48 \cdot 10^5 \cdot \frac{\sqrt{D^2 + d^2}}{l^2}$
Stal	$5,40 \cdot 10^5 \cdot \frac{d}{l^2}$	$5,40 \cdot 10^5 \cdot \frac{d}{l^2}$	$4,67 \cdot 10^5 \cdot \frac{d}{l^2}$	$4,67 \cdot 10^5 \cdot \frac{\sqrt{D^2 + d^2}}{l^2}$

4.2.6. Wytrzymałość mechaniczna przy zwarciu dla przewodów giętkich

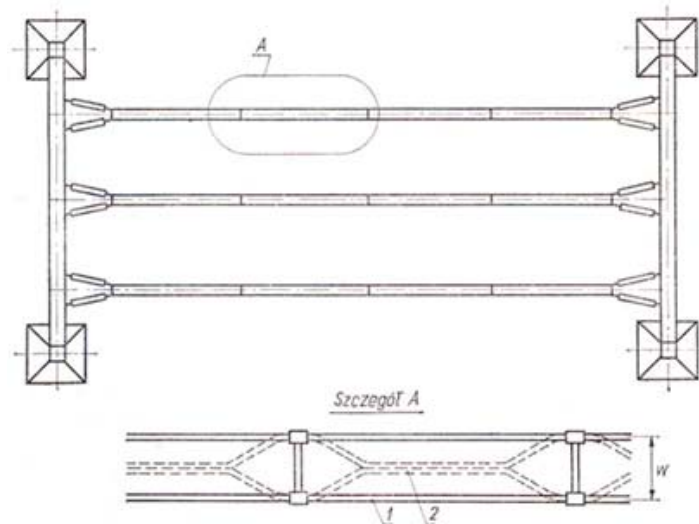
4.2.6.1. Wprowadzenie [43]

W rozdzielniach z przewodami giętkimi, skutki dynamiczne spowodowane przepływem prądu zwarciovego są zjawiskami bardziej złożonymi niż w przypadku rozdzielni z przewodami sztywnymi ze względu na znaczne ruchy przewodów, które wpływają na siły zarówno wskutek zmiany odległości oddziałujących na siebie przewodów przewodzących prąd zwarciovym. Ruchy przewodów są istotne z uwagi na konieczność zachowania odstępów izolacyjnych. Sposoby prowadzenia przewodów giętkich przedstawia rys. 4.24. Przewód zawieszony może być pojedynczy lub wiązkowy. Rzut przykładowego przęsła szyn zbiorczych, odpowiadających przypadkowi A pokazano na rys. 4.25.

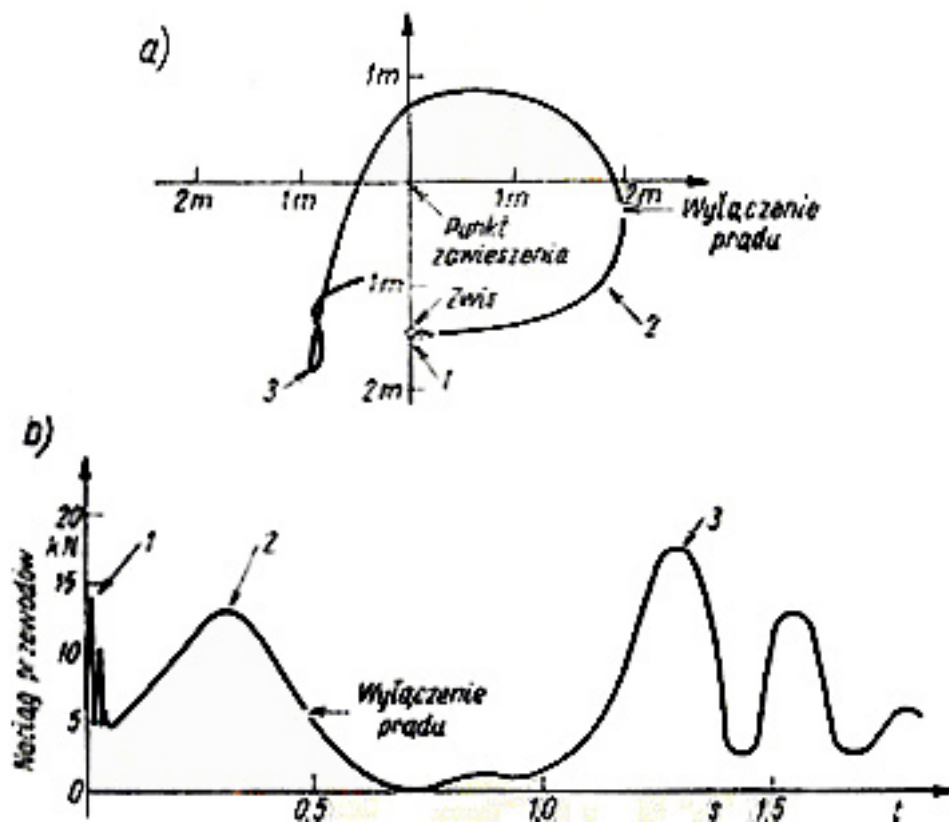


Rys. 4.24. Najczęściej występujące przypadki prowadzenia przewodów giętkich w rozdzielniach napowietrznych [43]:

- A – przewody zawieszane odciągowo między konstrukcjami wsporczymi,
- B – połączenie pionowe,
- C – połączenie poziome między aparatami,
- D – mostek prądowy



Rys. 4.25. Rzut poziomy przęsła trójfazowego z wiązką dwuprzewodową odpowiadającego przykładowi A z rys. 4.14 [43]:
1 – stan normalny, 2 – przy zwarciu.



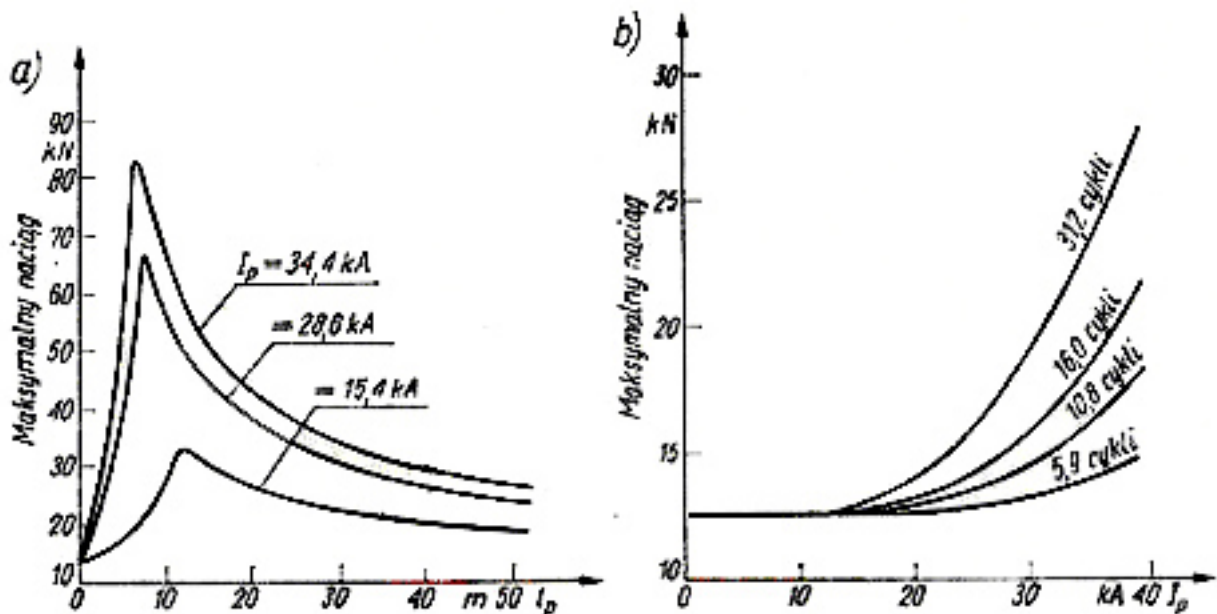
Rys. 4.26. Ruch przewodów (a) i naciąg przewodów w wiązce fazy skrajnej (b) w rozdzielni napowietrznej 130 kV pod wpływem prądu zwarciovego 50 kA, płynącego przez 0,5 s [43]:
1 – sklejenie się przewodów w wiązkę,
2 – oddziaływania międzyfazowe,
3 – opadnięcie przewodów.

W rozważanym przeszle dwuprzewodowym każda faza stanowi wiązkę złożoną z dwóch przewodów. Odstęp między przewodami w wiązce utrzymują odstępniki, dzielące przeszle przewodowe na kilka podprzesł. Podczas zwarcia, w obu przewodach wiązki płynie prąd o takim samym kierunku, wskutek czego następuje silne przyciąganie się przewodów wiązki. W ciągu kilkudziesięciu milisekund oba przewody zderzają się i pozostają sklezione przez cały czas trwania zwarcia. Wielokrotne zderzenie powoduje uszkodzenie przewodu, sklejenie się przewodów wiązki między odstępnikami powoduje skrócenie przewodu wiązkowego oraz raptowne zwiększenie naciągu przewodów (punkt 1 na rys. 4.26b).

Przemieszczanie się zwisających przewodów wskutek działania międzyfazowych sił zwarciovych, występuje z pewną zwłoką czasową w stosunku do zjawisk w wiązce. Charakterystyczny przykład drogi przewodu fazy skrajnej pokazano na rys. 4.24a). Przewody faz skrajnych rozpoczynają swój ruch od wychylenia na zewnątrz, podczas gdy przewód fazy środkowej wychyla się nieznacznie. W chwili największego wychylenia przewodów występuje drugi szczyt naciągu w przewodzie (punkt 2 rys. 4.26b), pochodzący od energii kinetycznej poruszającego się przewodu. Następnie przewody wykonują ruch w kierunku przeciwnym do kierunku ich ruchu tuż po zwarciu, tzn. do wewnątrz. Przy tym ruchu, już po wyłączeniu prądu zwarciovego, często następuje raptowne opadnięcie wniesionego przewodu w dół, które powoduje trzeci szczyt naciągu w przewodzie (punkt 3 rys. 4.26b). Od wielu czynników jak geometria, wartość prądu zwarciovego, czasu trwania zwarcia itd. zależy, który ze szczytowych naciągów przewodu jest największy. Podobne zjawiska występują w przypadku wiązki złożonej z trzech, czterech lub więcej przewodów. Siły zwarciove powstające w przewodach przenoszą się na konstrukcje wsporcze za pośrednictwem łańcuchów izolatorowych, które swoją masą wpływają na przebieg siły w czasie, opóźnienie oraz jej amplitudę. Pod wpływem naciągu zwarciovego konstrukcje wsporcze uginają się, co wpływa na zmniejszenie naciągu. Podobny jest skutek wydłużenia termicznego przewodów wywołanego prądem zwarciovym: przy dużym przekroju przewodów wzrost temperatury przewodów jest jednak niewielki. Ugięcie konstrukcji wsporczych, występujące pod działaniem zmiennego w czasie naciągu przewodów przechodzi w drgania tych konstrukcji. Częstotliwość tych drgań wynika z częstotliwości własnej drgań konstrukcji, która jest zwykle rzędu od kilku do kilkunastu herców.

Siły wewnątrz wiązki zależą w dużym stopniu od geometrycznych wymiarów wiązki, odstepu między przewodami w wiązce oraz odległość między odstepnikami. Siła pochodząca od sklejanie przewodów w wiązce jest w przybliżeniu proporcjonalna do odstepu między przewodami, dlatego celowe jest stosowanie możliwe jak najmniejszego odstepu. Jednak zbyt mały odstep może mieć następujące niekorzystne skutki: zmniejszenie obciążalności prądowej o ok. 10% przy stykaniu się przewodów, ocieranie się przewodów przy prądach roboczych, niebezpieczeństwo zlepiania przewodów przy oblodzeniu, zwiększony ulot. W rozdzielniach 110 kV dla przewodów zawieszonych odciągowo, przyjęto odstep między osiami w wiązce 10 cm, a w rozdzielniach 400 kV – 20 cm. Z rys. 4.27 wynika, że największe naciągi występują przy długości podprzesła ok. 10 m. Lepsze warunki występują przy gęściejszym, (co około 5 m) albo rzadszym, (co ponad 20 cm) rozmieszczeniu odstepników. Przy projektowaniu nie zawsze jest możliwość swobodnego ustalania długości podprzesła ze względu na przełączanie odgałęzień. W przewodach zawieszonych między konstrukcjami wsporczymi (przypadek A na rys. 4.24) dąży się do możliwie jak najmniejszej liczby odstepników, aby osiągnąć długie podprzesła. W połączeniach swobodnych (przypadek B), spotyka się gęste rozmieszczenie odstepników. Siły zwarciove w przewodach zawieszonych odciągowo na konstrukcjach wsporczych, powstające wskutek wychylenia przewodów (obciążenie szczytowe na rys. 4.26b), są w przybliżeniu proporcjonalne do kwadratu wartości skutecznej prądu zwarciovego (rys. 4.27b) prąd udarowy nie ma dużego znaczenia, gdyż czas jego trwania jest bardzo krótki w porównaniu z czasem wychylenia. Istotny wpływ na skutki dynamicznego oddziaływania prądu zwarciovego ma czas trwania zwarcia. Natomiast odwrotna sytuacja występuje w rozdzielniach średnich napięć, gdzie o obciążeniu dynamicznym decyduje

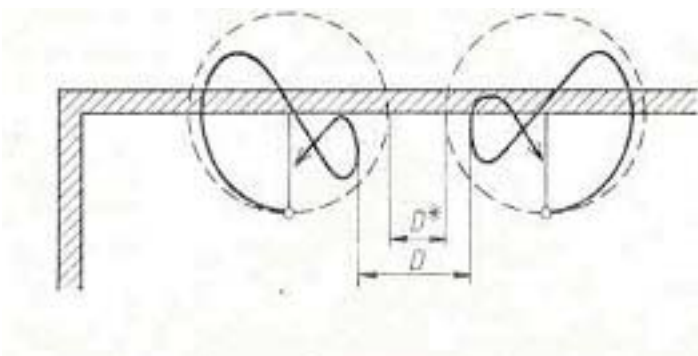
prąd udarowy, a czas trwania zwarcia nie ma znaczenia. Wyżej przedstawione skutki dynamiczne dotyczące przewodów giętkich uzyskano na podstawie badań laboratoryjnych. Oprócz sił naciągu zwarciovego występują przy zwarciu znaczne ruchy przewodów (rys. 4.24), które powodują zbliżenie między przewodami różnych faz, a także zbliżenie przewodów do konstrukcji uziemionych. Jeżeli odstęp między przewodami jest zbyt mały, to może wystąpić przeskok i zapalenie się łuku elektrycznego, stanowiącego zwarcie wtórne. W celu wyeliminowania tego niebezpieczeństwa należy zapewnić dostatecznie duże odstęp w powietrzu. Odstępy ustala się przy założeniu występowania przepięć atmosferycznych i wysokich przepięć łączeniowych. Prawdopodobieństwo jednoczesnego wystąpienia maksymalnego wychylenia zwarciovego i przepięcia atmosferycznego jest pomijalnie małe, a przy wyłączaniu zwarcia nie występują największe przepięcia łączeniowe.



Rys. 4.27. Zależność naciągu zwarciovego w wiązce jednej fazy [43]:

- naciąg powodowany przez sklejenie się przewodów w wiązce o odstępnie 33 cm, przy różnej wartości prądu zwarciovego I_p i różnej długości podprzęsła l_p : naciąg wstępny 12,5 kN,
- naciąg powodowany przez wychylenie wiązki przy różnym czasie trwania zwarcia i różnej wartości skutecznej prądu zwarciovego I_p : przesło 59,5 m, naciąg wstępny 12,5 kN, odstęp przewodów w wiązce 8,89 cm.

Decydujący w projektowaniu jest przypadek zwarcia dwufazowego, gdyż występuje wówczas największe zbliżenie przewodów (rys. 4.28). Sprawdzenie odstępów wymaga obliczenia wychylenia przewodów. Dokładne określenie odległości wymaga obliczeń na komputerze, jednakże w praktyce projektowej najczęściej wystarczające jest proste założenie ruchu przewodów po łuku okręgu o promieniu równym zwisowi przewodu (rys. 4.28), pozwalające na określenie przybliżonego odstęp. Należy przy tym uwzględnić wydłużenie cieplne i elastyczne przewodu.



Rys. 4.28. Ruch przewodów przy zwarcu dwufazowym [43], gdzie:
 D – odstęp między przewodami fazowymi przy wychyleniu zwarciovym,
 D^* - przybliżony odstęp.

Jeżeli obliczony odstęp jest mniejszy od dopuszczalnego, a nie ma możliwości zwiększenia odległości między przewodami, to stosuje się środki ograniczające ruchy przewodów, np. międzyfazowe odstępniki izolacyjne albo zawieszane na przewodach masy tłumiące. Ruchy przewodów w przęśle (przypadek A) powodują wyrwanie połączeń pionowych (połączenie B na rys. 4.22), co może spowodować uszkodzenie aparatu lub wyrwanie przewodu z zacisku. Uniknąć tego można prowadząc pionowe przewody do aparatu łukiem zapewniającym rezerwę długości przewodu. W przypadku mostków prądowych (połączenie D na rys. 4.22), gdzie ruchy przewodów są identyczne do opisanych wyżej zjawisk, często występują problemy ze zbliżeniami zwarciovymi. Można tego uniknąć zawieszając na mostkach masy tłumiące albo usztywniając przewody. W połączeniach między aparatami rozdzielczymi (przypadek C na rys. 4.22), których długość zazwyczaj nie przekracza kilku metrów, występują zjawiska podobne do zjawisk w połączeniach między konstrukcjami wsporczymi (przypadek A). W tym przypadku, ze względu na małe zwisy, ruchy przewodów nie powodują istotnych wychyleń ze względu na odstępów elektrycznych, natomiast naciągi zwarciovie stanowią zagrożenie mechaniczne dla aparatów i izolatorów wsporczych.

4.2.6.2. Postanowienia ogólne

Siły zwarciovie powstające w wyniku przepływu prądu zwarciovego w przewodach głównych wyznacza się na podstawie parametrów charakterystycznych danej konfiguracji i rodzaju zwarcia. W przęśle rozróżnia się trzy rodzaje sił zwarciovych:

- siła naciągu podczas zwarcia F_t ,
- siła naciągu spowodowana opadnięciem przewodu po zwarciu F_f ,
- siła naciągu F_{pi} spowodowana sklejeniem się przewodów składowych w wiązce.

W rozdzielniach z szynami giętkimi, skutki dynamiczne powstające w wyniku zwarcia trójfazowego i dwufazowego są praktycznie takie same. Jednak w przypadku zwarcia dwufazowego ruchy przewodów przewodzących prąd zwarciovym są znaczne i powodują zmniejszenie odstępów między przewodami, co może doprowadzić do zapalenia się łuku elektrycznego, stanowiącego zwarcie wtórne. W przypadku zwarcia trójfazowego symetrycznego, przewód fazy środkowej przemieszcza się nieznacznie z powodu działających na niego sił alternatywnie w dwóch kierunkach. Dlatego siły zwarciovie F_t , F_f oraz poziome wychylenie przewodów b_h oblicza się dla zwarcia dwufazowego. Obliczenia przedstawione niżej wykonuje się na podstawie naciągu statycznego przewodów F_{st} występującego przy temperaturze zimowej minimalnej -20°C oraz przy temperaturze maksymalnej 60°C . Z wyników obliczeń, dla każdej siły zwarcioviej należy wziąć pod uwagę wartość maksymalną.

Uwagi:

1. Niżej przedstawione równania stosuje się dla przewodów o długościach sięgających do 60 m oraz dla stosunku zwisu przewodu do długości przewodu nieprzekraczający 8%. Dla przewodów o długościach przekraczających 60 m, ruch przewodu może spowodować mniejsze naprężenia niż te wyznaczone za pomocą tych równań. Jeżeli to można udowodnić przy pomocy obliczeń lub pomiarów, to należy zachowywać mniejsze obciążenia.
2. Niżej przedstawione wzory stosuje się dla przewodów rozmieszczonych poziomo obok siebie. W innych konfiguracjach mogą występować mniejsze siły naciągu. Jednak w tych przypadkach ze względu na skomplikowane obliczenia, które mogłyby być zastosowane, zaleca się skorzystać również z podanych równań.
3. Siły ciężkości uwzględnia się w obliczeniu jako dodatkowe masy skupione.
4. Skutki wzmocnienia efektów spowodowane zadziałaniem automatyki SPZ pomija się.

4.2.6.3. Parametry charakterystyczne

Statyczna siła jednostkowa działająca na przewodach giętkich w sieciach trójfazowych wyznacza się ze wzoru:

$$F'_0 = 0.00000015 \frac{(I_{k3})^2}{a} \cdot \frac{l_c}{l} \quad \left[\frac{\text{N}}{\text{m}} \right] \quad (4.53)$$

gdzie:

- I_{k3} – prąd zwarcia trójfazowy [A],
- a – odstęp między osiami przewodów [m],
- l_c – długość przewodu w przęśle [m],
- l – odległość pomiędzy podporami w przęśle [m].

Uwagi:

- 1) W sieciach jednofazowych z dwoma przewodami należy zastąpić $(I_{k3})^2$ przez $\frac{1}{0,75} \cdot (I_{k2})^2$.
- 2) W obliczeniach nie uwzględnia się składowej nieokresowej prądu zwarcia. Jednakże może to mieć znaczący wpływ na wyniki obliczeń tylko w przypadku, gdy czas trwania zwarcia jest mniejszy niż 0,1 s.

Stosunek statycznej siły jednostkowej do siły ciężkości przewodu podczas zwarcia jest istotnym parametrem wyznaczonym za pomocą wzoru:

$$r = \frac{F'_0}{n \cdot m \cdot g} \quad (4.54)$$

gdzie:

- g – przyspieszenie ziemskie $\left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right]$,
- m – ciężar jednostkowy przewodu $\left[\frac{\text{kg}}{\text{m}} \right]$,
- n – liczba przewodów w fazie.

Parametr powyższy służy do określenia kierunku siły wypadkowej działającej na przewód podczas zwarcia:

$$\delta_1 = \arctan r \quad [\text{stopnie}] \quad (4.55)$$

Zwis przewodu w stanie normalnym na środku przęsła wyraża się następującym wzorem:

$$b_c = \frac{n \cdot m \cdot g \cdot l^2}{8 \cdot F_{st}} \quad [\text{m}] \quad (4.56)$$

gdzie:

- F_{st} – napiąg przewodu w stanie normalnym.

Okres oscylacji swobodnych przewodnika w stanie normalnym wyznacza się ze wzoru:

$$T = 2 \cdot \Pi \cdot \sqrt{0,8 \cdot \frac{b_c}{g}} \quad [\text{s}] \quad (4.75)$$

Stosuje się w przypadku małych kątów wychylenia bez przepływu prądu zwarciovego w przewodniku.

Wypadkowy okres oscylacji przewodnika T_{res} podczas zwarcia określa wzór:

$$T_{res} = \frac{T}{\sqrt[4]{1+r^2} \cdot \left[1 - \frac{\Pi^2}{64} \cdot \left(\frac{\delta_1}{90} \right)^2 \right]} \quad [\text{s}] \quad (4.58)$$

gdzie

- δ_1 musi być wyrażony w stopniach.

Współczynnik sztywności wyznacza się ze wzoru:

$$N = \frac{1}{S \cdot l} + \frac{1}{n \cdot E_s \cdot s} \quad \left[\frac{1}{\text{N}} \right] \quad (4.59)$$

gdzie:

- s – przekrój przewodu [mm^2],
- S - stała sprężystości podpór w $\left[\frac{\text{N}}{\text{m}} \right]$,
- E_s – rzeczywisty moduł Younga.

Jeżeli nie jest znana wartość dokładna stałej sprężystości podpór, należy przyjąć: $S = 10^5 \text{ N/m}$.

Rzeczywisty moduł Younga określa się:

$$E_s = \begin{cases} E \cdot \left[0,3 + 0,7 \cdot \sin \left(\frac{F_{st}}{n \cdot s \cdot \sigma_{fin}} \cdot 90^\circ \right) \right] & \left[\frac{N}{m^2} \right] & \text{dla} & \frac{F_{st}}{n \cdot s} \leq \sigma_{fin} \\ E & \left[\frac{N}{m^2} \right] & \text{dla} & \frac{F_{st}}{n \cdot s} > \sigma_{fin} \end{cases} \quad (4.60)$$

gdzie:

- σ_{fin} - najmniejsza wartość naprężenia, przy którym moduł Younga staje się stały, ,]

$$\sigma_{fin} = 5 \cdot 10^7 \quad \left[\frac{N}{m^2} \right]$$

- E - moduł Younga $\left[\frac{N}{m^2} \right]$,

- s - przekrój przewodów w $[m^2]$.

Współczynnik naprężenia przewodu wyznacza wzór:

$$\zeta = \frac{(n \cdot g \cdot m \cdot l)^2}{24 \cdot F_{st}^3 \cdot N} \quad (4.61)$$

Podczas zwarcia lub na końcu zwarcia, pręśło wychyla się w stosunku do swojej określonej pozycji o kąt wyznaczony wg wzoru:

$$\delta_k = \begin{cases} \delta_1 \cdot \left[1 - \cos \left(360^\circ \cdot \frac{T_{k1}}{T_{res}} \right) \right] & \text{dla} & 0 \leq \frac{T_{k1}}{T_{res}} \leq 0,5 \\ 2 \cdot \delta_1 & \text{dla} & \frac{T_{k1}}{T_{res}} > 0,5 \end{cases} \quad (4.62)$$

gdzie:

- T_{k1} - czas trwania zwarcia w [s].

Zwykle przyjmuje się, że $T_{k1} = 0,5$ s. Jeżeli znana jest wartość czasu trwania zwarcia podczas przepływu pierwszego prądu zwarciovego T_{k1} , to maksymalny kąt wychylenia przewodów δ_m może być wyznaczony z rys. 4.29. Maksymalny kąt wychylenia przewodów otrzymuje się również w następujący sposób:

$$\chi = \begin{cases} 1 - r \cdot \sin \delta_k & \text{dla} & 0 \leq \delta_k \leq 90^\circ \\ 1 - r & \text{dla} & \delta_k > 90^\circ \end{cases} \quad (4.63)$$

$$\delta_m = \begin{cases} 1,25 \cdot \arccos \chi & \text{dla } 0,766 \leq \chi \leq 1 \\ 10^\circ + \arccos \chi & \text{dla } -0,985 \leq \chi < 0,766 \\ 180^\circ & \text{dla } \chi < -0,985 \end{cases} \quad (4.64)$$

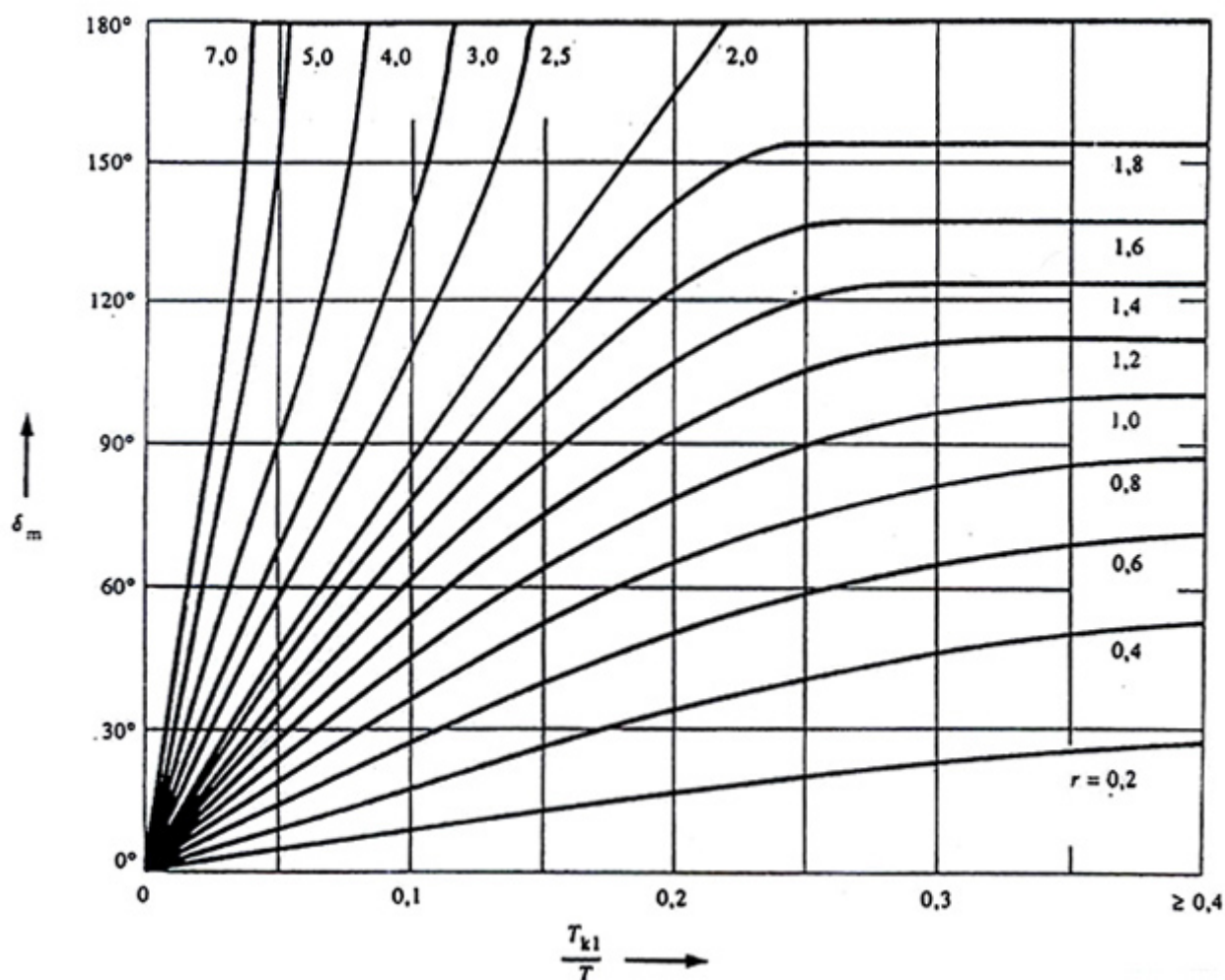
Uwaga:

Maksymalny kąt wychylenia przewodów δ_m jest największą wartością kąta wychylenia występującego w najniekorzystniejszych warunkach przy czasie trwania zwarcia mniejszym lub równym T_{kl} .

4.2.6.4. Siły podczas zwarcia

Parametr naciągu zwarciovego φ określa wzór:

$$\varphi = \begin{cases} 3 \cdot \left(\sqrt{1+r^2} - 1 \right) & \text{dla } T_{kl} \geq \frac{T_{res}}{4} \\ 3 \cdot (r \cdot \sin \delta_k + \cos \delta_k - 1) & \text{dla } T_{kl} < \frac{T_{res}}{4} \end{cases} \quad (4.65)$$



Rys. 4.29. Maksymalny kąt wychylenia przewodów δ_m odpowiadający maksymalnemu czasowi trwania zwarcia T_{kl} .

Następnie należy wyznaczyć współczynnik ψ , który zależy od współczynników ζ oraz φ , i może być wyznaczony z wykresu na rys. 4.30 lub z rozwiązania równania nieliniowego w przedziale $\{0;1\}$ postaci:

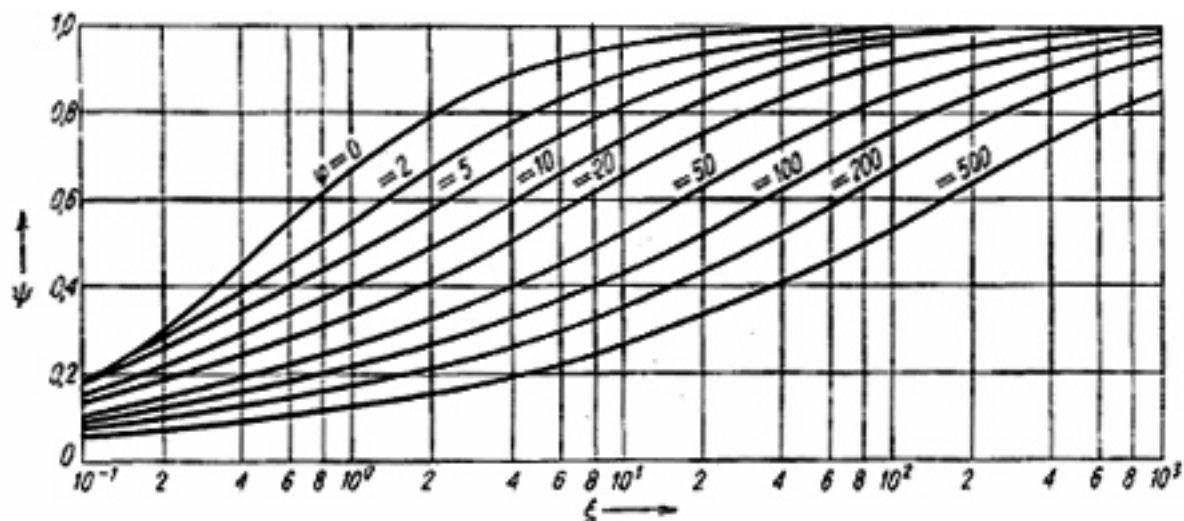
$$\varphi^2 \cdot \psi^3 + \varphi \cdot (2 + \xi) \cdot \psi^2 + (1 + 2 \cdot \xi) \cdot \psi - \xi \cdot (2 + \varphi) = 0 \quad (4.66)$$

Siła naciągu podczas zwarcia wyraża się wzorem:

$$F_t = \begin{cases} F_{st} \cdot (1 + \varphi \cdot \psi) & \text{dla } n = 1 \quad [\text{N}] \\ 1,1 \cdot F_{st} \cdot (1 + \varphi \cdot \psi) & \text{dla } n \geq 2 \quad [\text{N}] \end{cases} \quad (4.67)$$

4.2.6.5. Siły po zwarciu

Na końcu zwarcia przewód opada. Działanie wartości maksymalnej siły F_f na przewód po opadnięciu ma znaczenie tylko w przypadku $r > 0,6$ przy $\delta_m \geq 70^\circ$. W tym przypadku siła naciągu po zwarcu należy wyznaczyć z wzoru:



Rys. 4.30. Zależność współczynnika ψ od parametrów ξ oraz φ

$$F_f = 1,2 \cdot F_{st} \cdot \sqrt{1 + 8 \cdot \zeta \cdot \frac{\delta_m}{180^\circ}} \quad [\text{N}] \quad (4.68)$$

Siłą naciągu działającą na przewody, konstrukcje wsporcze oraz izolatory określa wzór:

$$F = \max \{F_f, F_t\} \quad [\text{N}] \quad (4.69)$$

4.2.6.6. Poziome wychylenie przewodów b_h

W celu wyznaczenia maksymalnego poziomego wychylenia się przewodów podczas lub po zwarcu należy określić następujące współczynniki:

- współczynnik odpowiadający za wydłużenie elastyczne przewodu,

- współczynnik odpowiadający za wydłużenie cieplne przewodu,
- współczynnik uwzględniający zwiększenie się zwisu przewodu spowodowane jego elastycznością i nagrzewaniem,
- współczynnik uwzględniający zwiększenie się zwisu przewodu związany ze zmianą kształtu przewodu w stanach dynamicznych.

Współczynnik odpowiadający za wydłużenie elastyczne przewodu określa wzór:

$$\varepsilon_{\text{ela}} = N \cdot (F_t - F_{\text{st}}) \quad (4.70)$$

Współczynnik odpowiadający za wydłużenie cieplne przewodu określa wzór:

$$\varepsilon_{\text{th}} = \begin{cases} c_{\text{th}} \cdot \left(\frac{I_{k3}}{n \cdot s}\right)^2 \cdot \frac{T_{\text{res}}}{4} & \text{dla } T_{k1} \geq \frac{T_{\text{res}}}{4} \\ c_{\text{th}} \cdot \left(\frac{I_{k3}}{n \cdot s}\right)^2 \cdot T_{k1} & \text{dla } T_{k1} < \frac{T_{\text{res}}}{4} \end{cases} \quad (4.71)$$

Wartość współczynnika c_{th} przyjmuje się:

- $0,27 \cdot 10^{-18} \text{ m}^4/(\text{A}^2 \cdot \text{s})$ – dla przewodów aluminiowych lub stalowo-aluminiowych o stosunku aluminium do stali większym od 6,
- $0,17 \cdot 10^{-18} \text{ m}^4/(\text{A}^2 \cdot \text{s})$ – dla przewodów stalowo-aluminiowych o stosunku aluminium do stali mniejszym lub równym 6,
- $0,088 \cdot 10^{-18} \text{ m}^4/(\text{A}^2 \cdot \text{s})$ - dla przewodów miedzianych.

Współczynnik C_D uwzględnia zwiększenie się zwisu przewodu spowodowane jego elastycznością i nagrzewaniem:

$$C_D = \sqrt{1 + \frac{3}{8} \cdot \left(\frac{l}{b_c}\right)^2 \cdot (\varepsilon_{\text{ela}} + \varepsilon_{\text{th}})} \quad (4.72)$$

Współczynnik C_F uwzględnia zwiększenie się zwisu przewodu związany ze zmianą kształtu przewodu w stanach dynamicznych:

$$C_F = \begin{cases} 1.05 & \text{dla } r \leq 0.8 \\ 0.97 + 0.1 \cdot r & \text{dla } 0.8 < r < 1.8 \\ 1.15 & \text{dla } r \geq 1.8 \end{cases} \quad (4.73)$$

Maksymalne poziome wychylenie przewodów b_h w wyniku zwarcia dla przęsła z przewodami zawieszonymi na izolatorach wsporczych ($l = l_c$), wyraża się wzorem:

$$b_h = \begin{cases} C_F \cdot C_D \cdot b_c & \text{dla } \delta_m \geq 90^\circ \\ C_F \cdot C_D \cdot b_c \cdot \sin \delta_m & \text{dla } \delta_m < 90^\circ \end{cases} \quad \text{przy } l_c = l \quad (4.74)$$

Maksymalne poziome wychylenie przewodów b_h w wyniku zwarcia dla przęsła z przewodami zawieszonymi między konstrukcjami wsporczymi, za pomocą odciągowych łańcuchów izolatorowych, wyraża się wzorem:

$$b_h = \begin{cases} C_F \cdot C_D \cdot b_c \cdot \sin \delta_1 & \text{dla } \delta_m \geq \delta_1 \\ C_F \cdot C_D \cdot b_c \cdot \sin \delta_m & \text{dla } \delta_m < \delta_1 \end{cases} \quad \text{przy } l_c = l - 2 \cdot l_i \quad (4.75)$$

gdzie:

- l_i – długość łańcucha izolatorowego

4.2.6.7. Minimalny odstęp izolacyjny występujący pomiędzy przewodami podczas zwarcia

Podczas zwarcia, w najgorszym przypadku, przewody przemieszczają się w środku przęsła po okręgu o promieniu równym b_h . Minimalny odstęp izolacyjny występujący pomiędzy przewodami podczas zwarcia dwufazowego, w najgorszym przypadku wyraża się wzorem:

$$a_{\min} = a - 2 \cdot b_h \quad [\text{m}] \quad (4.76)$$

Minimalny dopuszczalny odstęp izolacyjny, jaki musi być utrzymany podczas zwarcia można wyznaczyć w przybliżeniu w oparciu o następujący algorytm:

- 1) Dla stacji o znormalizowanym poziomie izolacji zakresu $1 \text{ kV} < U_m \leq 245 \text{ kV}$ w oparciu o tabl. 2 z [83] określamy znormalizowane wytrzymywane napięcie udarowe piorunowe wynoszące:
 - ◆ Dla stacji 110 kV ($U_m = 123 \text{ kV}$) 450 kV oraz 550 kV,
 - ◆ Dla stacji 220 kV ($U_m = 245 \text{ kV}$) 650 kV, 750 kV, 850 kV, 950 kV oraz 1050 kV.
- 2) W oparciu o tabl. 3 z [121] określamy ostateczną wartość znormalizowanego wytrzymywanego napięcia udarowego piorunowego wynoszącego:
 - ◆ Dla stacji 110 kV 450 kV,
 - ◆ Dla stacji 220 kV 850 kV.
- 3) W oparciu o tabl. A.1 z [84] określamy minimalny odstęp w powietrzu:
 - ◆ Dla stacji 110 kV $a_{\min} = 0,90 \text{ [m]}$,
 - ◆ Dla stacji 220 kV $a_{\min} = 1,70 \text{ [m]}$.
- 4) Zgodnie z [8], [7] minimalny dopuszczalny odstęp izolacyjny, jaki musi być utrzymany podczas zwarcia wynosić powinien być większy lub równy 50% minimalnego odstępu w powietrzu:
 - ◆ Dla stacji 110 kV $a_{\text{dop}} = 0,45 \text{ [m]}$,
 - ◆ Dla stacji 220 kV $a_{\text{dop}} = 0,85 \text{ [m]}$.

Oczywiście musi być spełniony warunek:

$$a_{\min} > a_{\text{dop}} \quad (4.77)$$

4.2.6.8. Siła naciągu spowodowana sklejeniem się przewodów wiązkowych podczas zwarcia

Siłę naciągu F_{pi} spowodowaną sklejeniem przewodów w wiązce podczas zwarcia wyznacza się przy założeniu konfiguracji symetrycznej wiązki przewodów z zachowaniem jednakowej odległości a_s między sąsiednimi przewodami w wiązce. Jeżeli odległość między przewodami w wiązce oraz rozmieszczenie odstępników w przęsle, są tak dobrane, że przewody zderzają się skutecznie podczas zwarcia, to siłę naciągu F_{pi} należy pominąć, jeżeli liczba przewodów w wiązce nie przekracza czterech. Przewody w wiązce można uważać za zderzające się skutecznie, jeżeli

odległość między nimi a_s na środku przęsła oraz odległość między odstępnikami l_s spełniają następujący warunek:

$$\frac{a_s}{d_s} \leq 2 \quad \text{i} \quad l_s \geq 50 \cdot a_s \quad (4.78)$$

$$\frac{a_s}{d_s} \leq 2,5 \quad \text{i} \quad l_s \geq 70 \cdot a_s \quad (4.79)$$

gdzie:

- a_s – odstęp między osiami przewodów składowych w wiązce,
- d_s – średnica przewodu,
- l_s – odległość między odstępnikami.

Jeżeli konfiguracja symetryczna wiązki nie spełnia powyższego warunku, to należy stosować następujące równania do obliczenia F_{pi} :

a) Siłę spowodowaną przepływem prądu zwarciego określa wzór:

$$F_V = (n-1) \cdot \frac{\mu_o}{2\pi} \cdot \left(\frac{I_{k3}}{n} \right)^2 \cdot \frac{l_s}{a_s} \cdot \frac{v_2}{v_3} \quad (4.80)$$

b) Współczynnik v_2 wyznacza się z wykresu na rys. 4.31 w zależności od współczynnika v_1 :

$$v_1 = f \cdot \frac{1}{\sin \frac{180^\circ}{n}} \cdot \sqrt{\frac{(a_s - d_s) \cdot m_s}{\frac{\mu_o}{2\pi} \cdot \left(\frac{I_{k3}}{n} \right)^2 \cdot \frac{n-1}{a_s}}} \quad (4.81)$$

gdzie:

- f – częstotliwość sieci,
- v_3 – współczynnik wyznaczony z wykresu na rys. 4.22,
- m_s – ciężar jednostkowy przewodu wiązkowego [kg/m].

Współczynnik v_2 można wyznaczyć także ze wzoru:

$$v_2 = 1 - \frac{\sin(4\pi \cdot f \cdot T_{pi} - 2\gamma)}{4\pi \cdot f \cdot T_{pi}} + \frac{f \cdot \tau}{f \cdot T_{pi}} \cdot \left(1 - e^{-\frac{2 \cdot f \cdot T_{pi}}{f \cdot \tau}} \right) \cdot \sin^2 \gamma - \frac{8\pi \cdot f \cdot \tau \cdot \sin \gamma}{1 + (2\pi \cdot f \cdot \tau)^2} \cdot \left\{ \left(2\pi \cdot f \cdot \tau \cdot \frac{\cos(2\pi \cdot f \cdot T_{pi} - \gamma)}{2\pi \cdot f \cdot T_{pi}} + \frac{\sin(2\pi \cdot f \cdot T_{pi} - \gamma)}{2\pi \cdot f \cdot T_{pi}} \right) \cdot e^{-\frac{f \cdot T_{pi}}{f \cdot \tau}} + \frac{\sin \gamma - 2\pi \cdot f \cdot \tau \cdot \cos \gamma}{2\pi \cdot f \cdot T_{pi}} \right\} \quad (4.82)$$

gdzie:

- T_{pi} – czas płynący od chwili pojawienia się zwarcia do momentu powstania siły naciągu spowodowanej sklejeniem się przewodów wiązkowych,
- γ - współczynnik odnośny do oszacowania częstotliwości drgań własnych przystosowanych,
- τ - stała czasowa sieci. Stała ta może być wyznaczona według zaleceń normatywnych – IEC 909.

$$\frac{1}{\tau} = -\frac{2\pi \cdot f}{3} \cdot \ln \frac{\kappa - 1,02}{0,98} \quad \text{przy czym} \quad \kappa \geq 1,1 \quad \text{i} \quad \gamma = \arctan(2\pi \cdot f \cdot \tau) \quad (4.83)$$

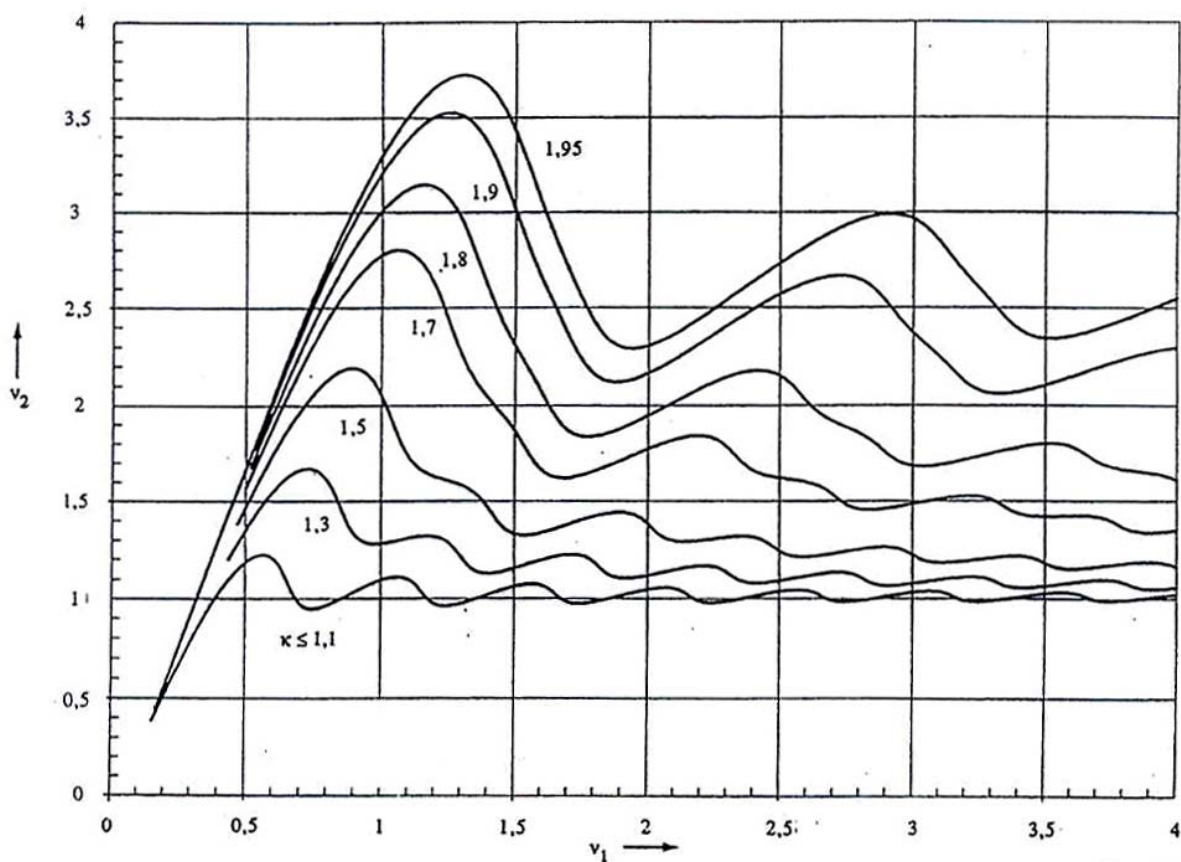
jeżeli $\kappa < 1,1$, należy przyjąć $\kappa = 1,1$.

gdzie:

- κ - współczynnik udaru.

Wielkość $f \cdot T_{pi}$ jest rozwiązaniem równania:

$$v_1 = f \cdot T_{pi} \cdot \sqrt{v_2} \quad (4.84)$$

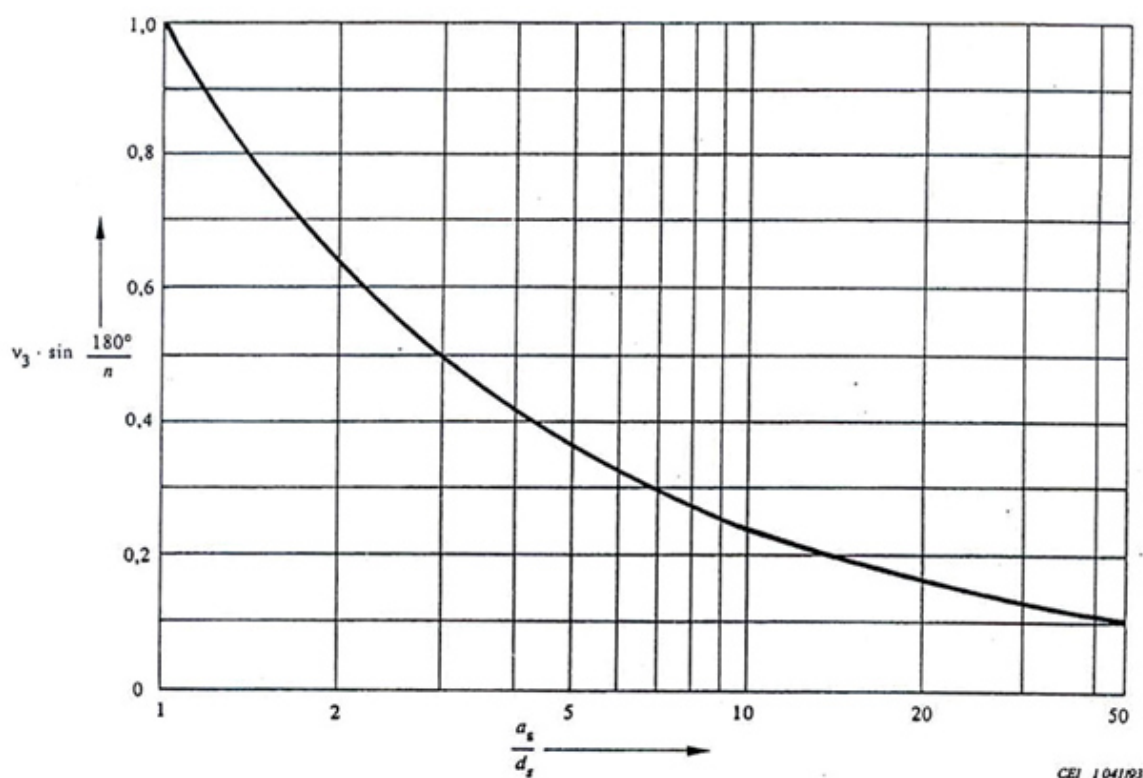


Rys. 4.31. Zależność współczynnika v_2 od v_1 [103]

Współczynnik v_3 można wyznaczyć ze wzoru lub z rys. 4.32:

$$v_3 = \frac{d_s/a_s}{\sin \frac{180^\circ}{n}} \cdot \frac{\sqrt{(a_s/d_s)-1}}{\arctan \sqrt{(a_s/d_s)-1}} \quad (4.85)$$

Jeżeli prąd zwarciaowy początkowy jednofazowy doziemny I_{k1} jest większy niż prąd zwarciaowy początkowy trójfazowy symetryczny I_{k3} , to należy zastąpić prąd I_{k3} przez I_{k1} we wzorach (4.80) i (4.81).



Rys. 4.32. Zależność między $v_3 \cdot \sin 180^\circ/n$ i a_s/d_s [103]

c) Współczynnik naprężenia charakteryzujące skurczenie wiązki oblicza się według wzorów:

$$\varepsilon_{st} = 1,5 \cdot \frac{F_{st} \cdot l_s^2 \cdot N}{(a_s - d_s)^2} \cdot \left(\sin \frac{180^\circ}{n} \right)^2 \quad (4.86)$$

$$\varepsilon_{pi} = 0,375 \cdot n \cdot \frac{F_v \cdot l_s^3 \cdot N}{(a_s - d_s)^3} \cdot \left(\sin \frac{180^\circ}{n} \right)^3 \quad (4.87)$$

$$j = \sqrt{\frac{\varepsilon_{pi}}{1 + \varepsilon_{st}}} \quad (4.88)$$

Parametr j wyznacza konfigurację wiązki podczas zwarcia w następujący sposób:

- Jeżeli $j \geq 1$ to przewody wiązkowe zderzają się. Siłę naciągu F_{pi} oblicza się wg punktu 4,

- Jeżeli $j < 1$ to przewody wiązkowe zmniejszają odstęp między nimi bez zderzenia się. Siłę naciągu F_{pi} oblicza się wg punktu 5.

d) Siła naciągu F_{pi} w przypadku zderzenia się przewodów w wiązce ($j \geq 1$):

$$F_{pi} = F_{st} \cdot \left(1 + \frac{v_e}{\epsilon_{st}} \cdot \xi \right) \quad (4.89)$$

Współczynnik ξ wyznacza się z równania nieliniowego postaci:

$$\xi^3 + \epsilon_{st} \cdot \xi^2 - \epsilon_{pi} = 0 \quad \text{przy} \quad j^{2/3} \leq \xi < j \quad (4.90)$$

Współczynnik ξ może być również wyznaczony z wykresu na rys. 4.33.

Współczynnik v_e oblicza się następująco:

$$v_e = \frac{1}{2} + \left[\frac{9}{8} \cdot n \cdot (n-1) \cdot \frac{\mu_o}{2\pi} \cdot \left(\frac{I_{k3}}{n} \right)^2 \cdot N \cdot v_2 \cdot \left(\frac{l_s}{a_s - d_s} \right)^4 \cdot \frac{\left(\sin \frac{180^\circ}{n} \right)^4}{\xi^3} \cdot \left\{ 1 - \frac{\arctan \sqrt{v_4}}{\sqrt{v_4}} \right\} - \frac{1}{4} \right]^{1/2} \quad (4.91)$$

przy czym:

$$v_4 = \frac{a_s - d_s}{d_s} \quad (4.92)$$

e) Siła naciągu F_{pi} w przypadku nie zderzających się przewodów wiązkowych

$$F_{pi} = F_{st} \cdot \left(1 + \frac{v_e}{\epsilon_{st}} \cdot \eta^2 \right) \quad (4.93)$$

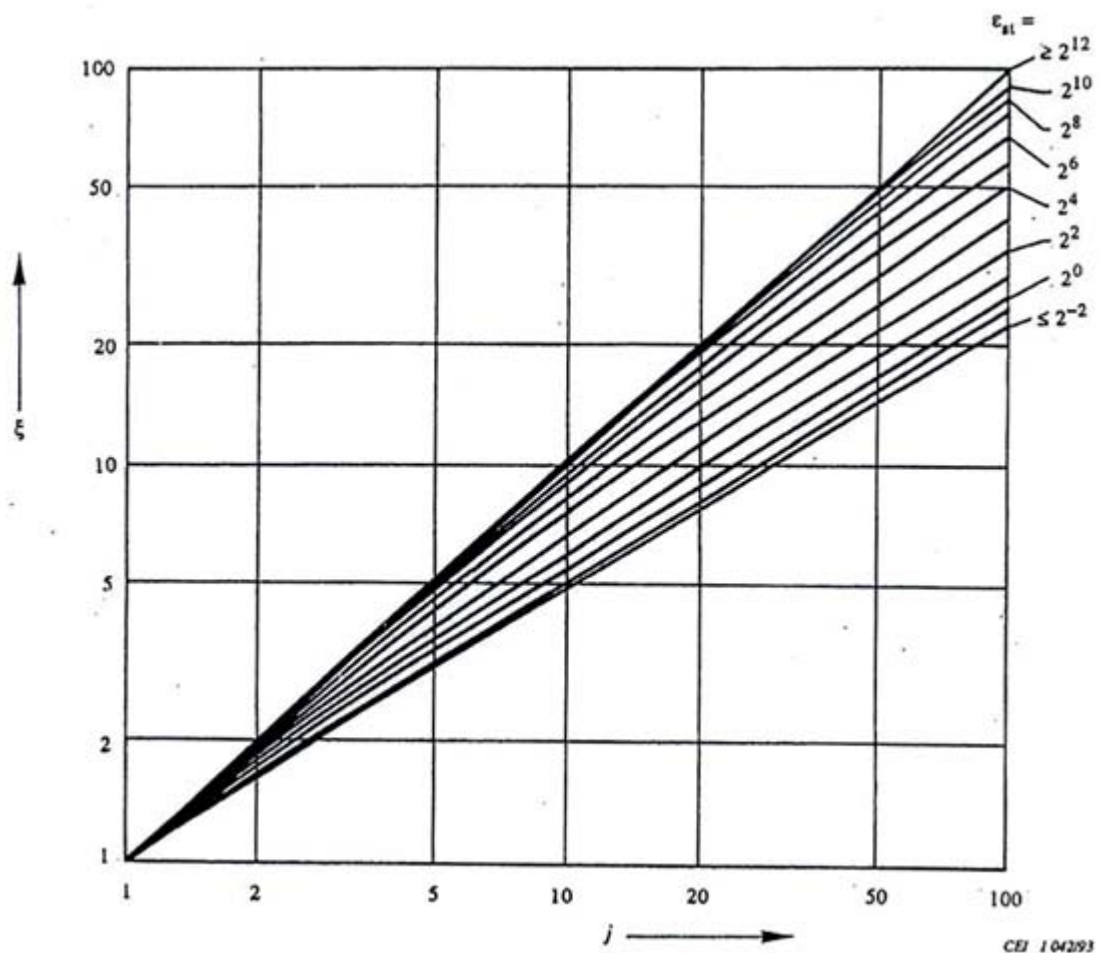
Współczynnik η wyznacza się z diagramów na rys. 4.34 w funkcji parametru a_s/d_s .

Współczynnik v_e oblicza się następująco:

$$v_e = \frac{1}{2} + \left[\frac{9}{8} \cdot n \cdot (n-1) \cdot \frac{\mu_o}{2\pi} \cdot \left(\frac{I_{k3}}{n} \right)^2 \cdot N \cdot v_2 \cdot \left(\frac{l_s}{a_s - d_s} \right)^4 \cdot \frac{\left(\sin \frac{180^\circ}{n} \right)^4}{\eta^4} \cdot \left\{ 1 - \frac{\arctan \sqrt{v_4}}{\sqrt{v_4}} \right\} - \frac{1}{4} \right]^{1/2} \quad (4.94)$$

przy czym:

$$v_4 = \eta \cdot \frac{a_s - d_s}{a_s - \eta \cdot (a_s - d_s)} \quad (4.95)$$



Rys. 4.33. Zależność współczynnika ξ od j oraz ϵ_{st} [103]

Uwagi:

Funkcja odwrotna $j(\eta)$ do podanej na rys. 4.34 może być obliczona analitycznie posługując się następującymi równaniami:

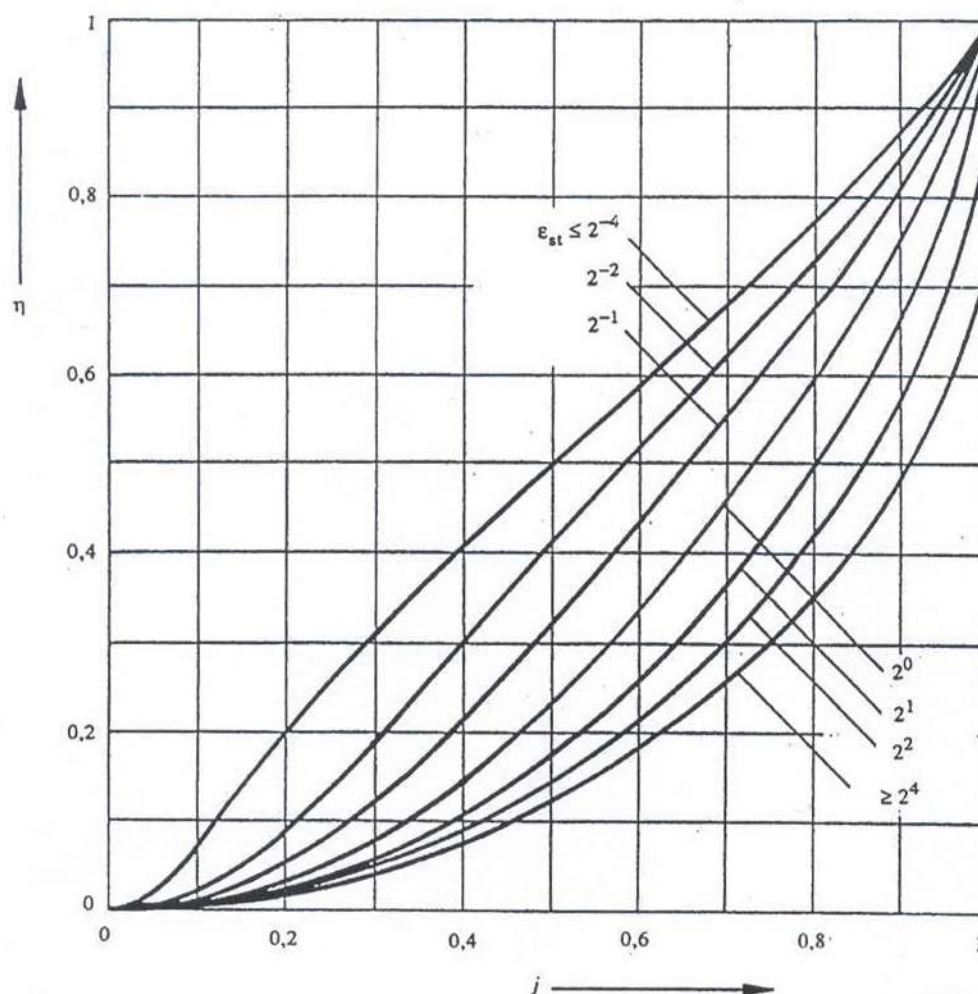
$$y_a = \frac{1}{2} \cdot [a_s - \eta \cdot (a_s - d_s)] \quad (4.96)$$

$$a_{sw} = a_s \cdot \frac{2y_a/a_s}{\sin \frac{180^\circ}{n}} \cdot \frac{\sqrt{\frac{1-2y_a/a_s}{2y_a/a_s}}}{\arctan \sqrt{\frac{1-2y_a/a_s}{2y_a/a_s}}} \quad (4.97)$$

$$f_{\eta} = \frac{a_s \cdot v_3}{a_{sw}} \quad (4.98)$$

$$a_s \cdot v_3 = \frac{d_s}{\sin \frac{180^\circ}{n}} \cdot \frac{\sqrt{a_s/d_s - 1}}{\arctan \sqrt{a_s/d_s - 1}} \quad (4.99)$$

$$j = \sqrt{\frac{\eta^3 + \varepsilon_{st} \cdot \eta}{(1 + \varepsilon_{st}) \cdot f_n}} \quad (4.100)$$



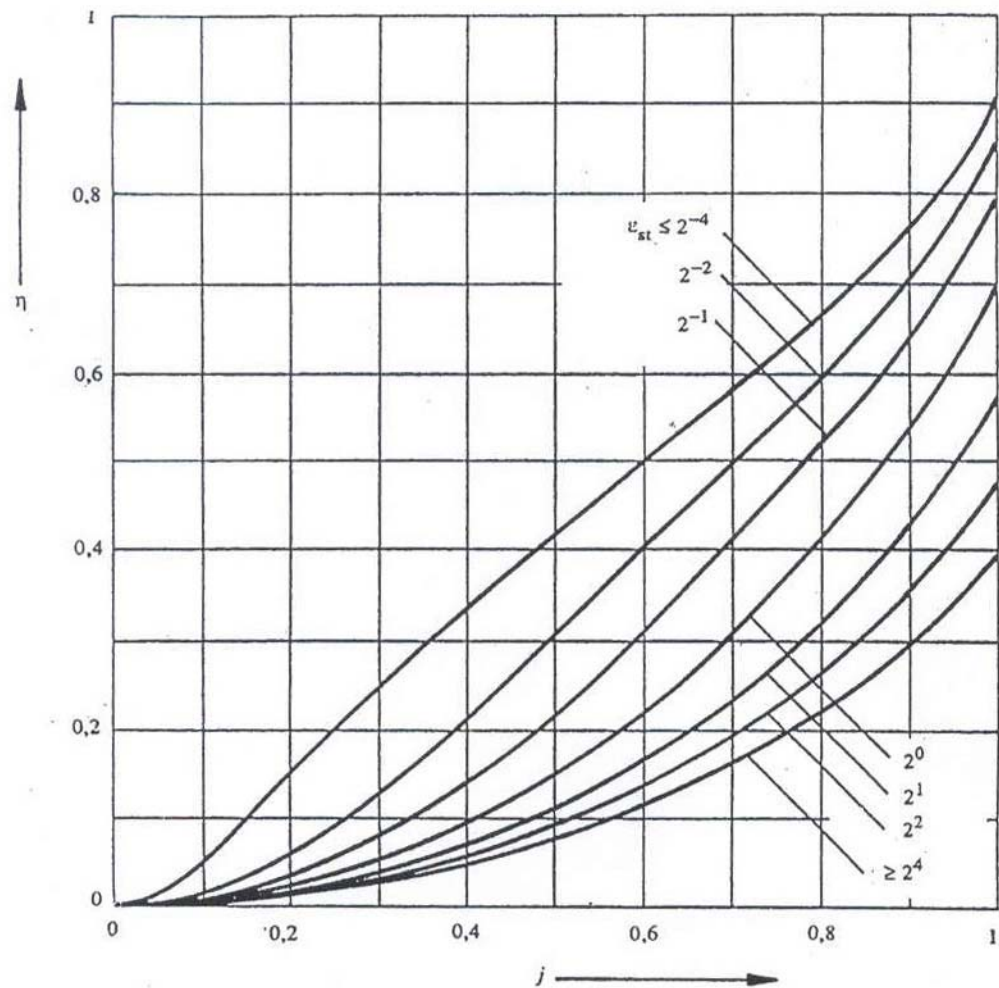
Rys. 4.34a). Zależność η od j oraz ε_{st} dla przypadku $2,5 < a_s/d_s \leq 5$ [103]

Funkcję $\eta(j)$ z rys. 4.24 można wyznaczyć rozwiązując numerycznie równanie 3^{-ego} stopnia ze współczynnikami nieliniowymi, przy czym $0 < \eta \leq 1$.

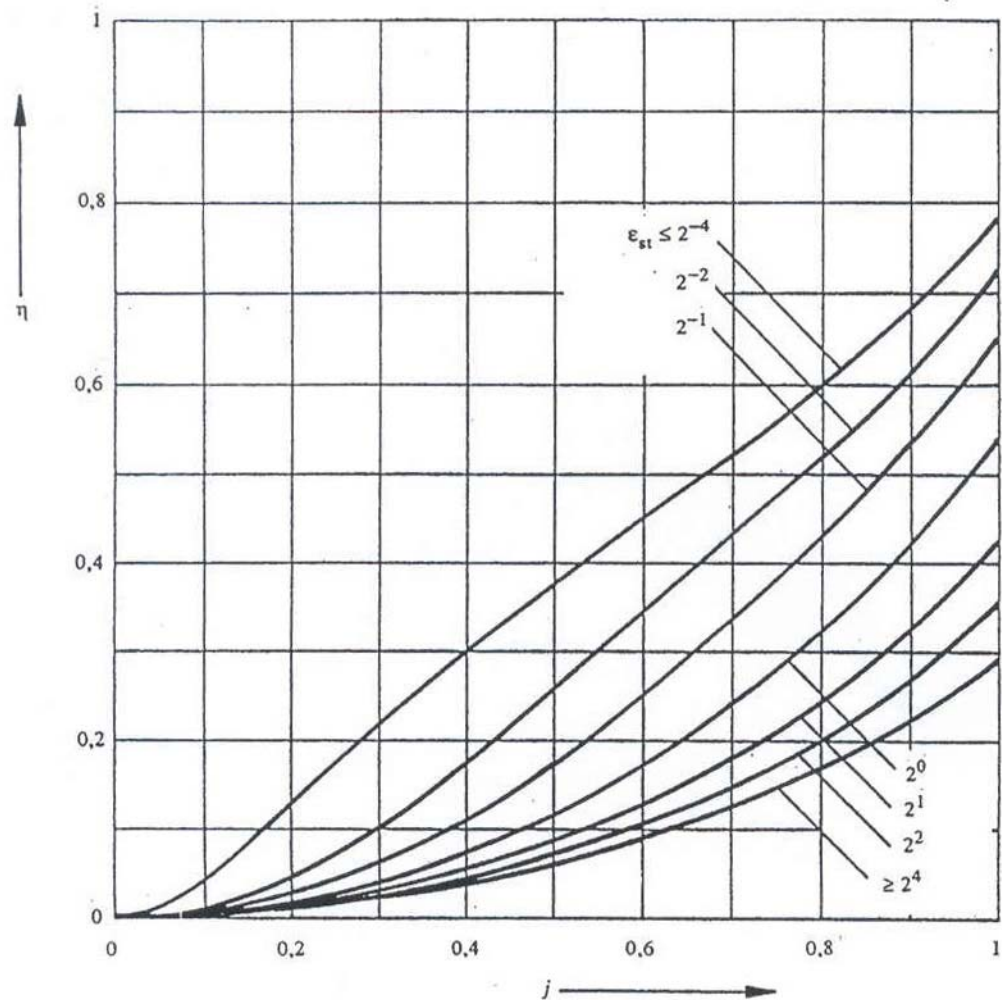
$$\eta^3 + \varepsilon_{st} \cdot \eta - \varepsilon_{pi} \cdot f_{\eta} = 0 \quad (4.101)$$

gdzie:

- y_a – odległość między osiami przewodów wiązkowych nie zderzających się podczas zwarcia,
- a_{sw} – odległość zastępcza między osiami przewodów w wiązce,
- f_η - współczynnik charakteryzujący skurczenie wiązki.



Rys. 4.34b) Zależność η od j oraz ϵ_{st} dla przypadku $5 < a_s/d_s \leq 10$ [103]



Rys. 4.34c) Zależność η od j oraz ϵ_{st} dla przypadku $10 < a_s/d_s \leq 15$ [103]

4.2.7. Przykłady doboru szyn zbiorczych

4.2.7.1. Dobór pojedynczej szyny sztywnej [17]

Dane:

Szyna aluminiowa, pojedyncza, ustawiona pionowo, pręseł 3, nie uwzględniamy SPZ.

$I''_{k3} = 16 \text{ kA}$; $\kappa = 1,35$; $f = 50 \text{ Hz}$;
 $l = 1,0 \text{ m}$; $a = 0,2 \text{ m}$; $b = 0,06 \text{ m}$; $d = 0,01 \text{ m}$;
 $m' = 1,62 \text{ kg/m}$; $E = 7 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2$; $P_{p0,2} = (120 \div 180) \text{ N/mm}^2$; $J = 0,5 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$;

Obliczenie odległości obliczeniowej a_m między szynami

Dla $b/d = 60/10 = 6$; $a/d = 200/10 = 20$; z wykresu 4.8 lub wzoru (4.31) mamy, że $k_{12} = 0,99$ wtedy odległości obliczeniowej a_m wynosi:

$$a_m = \frac{a}{k_{12}} = \frac{0,2}{0,99} = 0,202 \text{ m}$$

Największa siła działająca na szyny

$$F_{m3} = \frac{\mu_0}{2 \cdot \Pi} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot (\sqrt{2} \cdot \kappa \cdot I_{k3}'')^2 \cdot \frac{1}{a_m} = \frac{4 \cdot \Pi \cdot 10^{-7}}{2 \cdot \Pi} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot (\sqrt{2} \cdot 1,35 \cdot 16 \cdot 10^3)^2 \cdot \frac{1,00}{0,202} = 803 \quad [\text{N}]$$

Współczynnik γ z tabl. 4.9 odczytujemy, że $\gamma=3,56$

Częstotliwość drgań szyn

$$f_c = \frac{\gamma}{l^2} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot J}{m'}} = \frac{3,56}{(1,00)^2} \cdot \sqrt{\frac{7 \cdot 10^{10} \cdot 0,5 \cdot 10^{-8}}{1,62}} = 52,3 \quad [\text{Hz}]$$

Z wykresów na rys. 4.10 i tabl.4.9 odczytujemy, że dla $f_c/f=52,3/50=1,05$

$$V_\sigma=1,0 \quad V_r=1,0 \quad \beta=0,73$$

Wskaźnik wytrzymałości zgodnie z tabl. 4.12

$$Z = \frac{d^2 \cdot b}{6} = \frac{0,01^2 \cdot 0,06}{6} = 1 \cdot 10^{-6} \quad \text{m}^3$$

Napężenie zgodnie z wzorem (4.28)

$$\sigma_m = V_\sigma \cdot V_r \cdot \beta \cdot \frac{F_{m3} \cdot l}{8 \cdot Z} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,73 \cdot \frac{803 \cdot 1,0}{8 \cdot 1 \cdot 10^{-6}} = 73,3 \cdot 10^6 \quad \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 73,3 \quad \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Współczynnik q z tabl. 4.13 wynosi $q=1,5$

Obliczone napężenie musi spełniać zależność

$$\sigma_m = 73,3 \quad \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right] \leq q \cdot R_{p0,2} = 1,5 \cdot 120 = 180 \quad \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right]$$

Wniosek

Zaproponowane szyny zbiorcze mogą być zainstalowane w rozważanej rozdzielni.

4.2.7.2. Dobór szyny sztywnej wielopasmowej [17]**Dane:**

Szyny aluminiowe, potrójne $n=3$, ustawione pionowo, pręseł 3, odstępniaki 2 o wymiarach 60x60x10 mm wykonane z tego samego materiału, co szyny, nie uwzględniamy SPZ.

$$\begin{array}{llllll} I_{k3}'' = 16 \text{ kA}; & \kappa = 1,35; & f = 50 \text{ Hz}; & & & \\ l = 1,0 \text{ m}; & a = 0,2 \text{ m}; & b = 0,06 \text{ m}; & d = 0,01 \text{ m}; & l_s = 0,5 \text{ m}; & \\ m' = 1,62 \text{ kg/m}; & E = 7 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2; & R_{p0,2} = (120 \div 180) \text{ N/mm}^2; & J = 0,5 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4; & & \end{array}$$

Obliczenie odległości obliczeniowej a_m między szynami głównym

Dla $b_m/d_m=60/50=1,2$; $a/d_m=200/50=4$; z wykresu 4.8 lub wzoru (4.31) mamy, że $k_{12}=1,0$ wtedy odległości obliczeniowej a_m wynosi (wielkości $b_m=b$ i $d_m=5 \cdot d=50$ mm wyznaczone zgodnie z rys. 4.9b) dla pionowego ustawienia szyn):

$$a_m = \frac{a}{k_{12}} = \frac{0,2}{1,0} = 0,2 \text{ m}$$

Największa siła działająca na szyny

$$F_{m3} = \frac{\mu_0}{2 \cdot \Pi} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot (\sqrt{2} \cdot \kappa \cdot I_{k3}'')^2 \cdot \frac{1}{a_m} = \frac{4 \cdot \Pi \cdot 10^{-7}}{2 \cdot \Pi} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot (\sqrt{2} \cdot 1,35 \cdot 16 \cdot 10^3)^2 \cdot \frac{1,00}{0,20} = 811 \text{ [N]}$$

Obliczenie odległości obliczeniowej a_s między szynami składowymi

Dla $a_{12}/d=20/10=2$ i $b/d=60/10=6$ z rys. 4.8 mamy, że $k_{12}=0,60$.

Dla $a_{13}/d=40/10=4$ i $b/d=60/10=6$ z rys. 4.8 mamy, że $k_{13}=0,78$.

$$\frac{1}{a_s} = \frac{k_{12}}{a_{12}} + \frac{k_{13}}{a_{13}} = \frac{0,6}{0,02} + \frac{0,78}{0,04} \Rightarrow a_s = 0,0202 \text{ m}$$

Największa siła działająca między szynami składowymi

$$F_s = \frac{\mu_0}{2 \cdot \Pi} \cdot \left(\frac{\sqrt{2} \cdot \kappa \cdot I_{k3}''}{n} \right)^2 \cdot \frac{l_s}{a_s} = \frac{4 \cdot \Pi \cdot 10^{-7}}{2 \cdot \Pi} \cdot \left(\frac{\sqrt{2} \cdot 1,35 \cdot 16 \cdot 10^3}{3} \right)^2 \cdot \frac{0,50}{0,0202} = 515 \text{ [N]}$$

Współczynnik γ z tabl. 4.9 odczytujemy, że $\gamma=3,56$

Współczynnik c obliczamy z wzoru (4.40)

$$k=2 \quad l_s/l=0,5 \quad \text{z tabl. 4.14 mamy, że } \xi_m=1,0, \quad c_c=1,78$$

Przekładka ma wymiary i ciężar jednostkowy taki jak szyna, lecz ma długość 60 mm i na jednym prześle mamy 2 przekładki, a więc można obliczyć współczynnik pomocniczy do wyznaczenia wartości współczynnika c .

$$\frac{m_z}{n \cdot m_s' \cdot l} = \frac{1,62 \cdot 0,06 \cdot 2}{3 \cdot 1,62 \cdot 1,00} = 0,04$$

$$c = \frac{c_c}{\sqrt{1 + \xi_m \cdot \frac{m_z}{n \cdot m_s' \cdot l}}} = \frac{1,0}{\sqrt{1 + 1,5 \cdot 0,04}} = 0,97$$

Częstotliwość drgań szyn głównych

$$f_c = c \cdot \frac{\gamma}{l^2} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot J}{m'}} = 0,97 \cdot \frac{3,56}{(1,00)^2} \cdot \sqrt{\frac{7 \cdot 10^{10} \cdot 0,5 \cdot 10^{-8}}{1,62}} = 50,8 \text{ [Hz]}$$

Częstotliwość drgań szyn składowych

$$f_{cs} = \frac{3,56}{l_s^2} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot J_s}{m_s'}} = \frac{3,56}{(0,50)^2} \cdot \sqrt{\frac{7 \cdot 10^{10} \cdot 0,5 \cdot 10^{-8}}{1,62}} = 209 \text{ [Hz]}$$

Stosunki częstotliwości wynoszą:

$$f_c/f = 50,8/50 = 1,02 \quad f_{cs}/f = 209/50 = 4,18$$

Z wykresów na rys. 4.10 i tabl.4.9 odczytujemy

$$V_\sigma = 1,0 \quad V_{\sigma_s} = 1,0 \quad V_r = 1,0 \quad V_{rs} = 1,0 \quad \beta = 0,73$$

Wskaźniki wytrzymałości zgodnie z tabl. 4.12

$$Z = n \cdot \frac{d^2 \cdot b}{6} = 3 \cdot \frac{0,01^2 \cdot 0,06}{6} = 3 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$Z_s = \frac{d^2 \cdot b}{6} = \frac{0,01^2 \cdot 0,06}{6} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

Naprężenie w szynach głównych zgodnie z wzorem (4.28)

$$\sigma_m = V_\sigma \cdot V_r \cdot \beta \cdot \frac{F_{m3} \cdot l}{8 \cdot Z} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,73 \cdot \frac{811 \cdot 1,0}{8 \cdot 3 \cdot 10^{-6}} = 24,7 \cdot 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 24,7 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Naprężenie w szynach składowych zgodnie z wzorem (4.28)

$$\sigma_s = V_{\sigma_s} \cdot V_{rs} \cdot \frac{F_s \cdot l_s}{16 \cdot Z_s} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot \frac{515 \cdot 0,5}{16 \cdot 1 \cdot 10^{-6}} = 16,1 \cdot 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 16,1 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Całkowite naprężenie w szynach

$$\sigma_{\text{tot}} = \sigma_m + \sigma_s = 24,7 + 16,1 = 40,8 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Współczynnik q z tabl. 4.13 wynosi q=1,5

Obliczone naprężenia muszą spełniać zależność

$$\sigma_{\text{tot}} = 40,8 \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right] \leq q \cdot R_{p0,2} = 1,5 \cdot 120 = 180 \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right]$$

$$\sigma_s = 16,1 \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right] \leq R_{p0,2} = 120 \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right]$$

Wniosek:

Zaproponowane szyny zbiorcze mogą być zainstalowane w rozważanej rozdzielni.

4.2.7.3. Dobór szyny rurowej w rozdzielni bez SPZ [17]**Dane:**

Dla rozdzielni 380 kV sprawdzić szyny rurowe, pojedyncze, sztywne, z dwoma przęsłami o następujących pozostałych parametrach:

$$\begin{aligned} I_{k3}'' &= 50 \text{ kA} & \kappa &= 1,81; & f &= 50 \text{ Hz}; \\ l &= 18,0 \text{ m}; & a &= 5,0 \text{ m}; & D &= 160 \text{ mm}; & d &= 148 \text{ mm}; \\ m' &= 7,84 \text{ kg/m}; & E &= 7 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2; & R_{p0,2} &= (160 \div 240) \text{ N/mm}^2; \end{aligned}$$

Obliczenie odległości obliczeniowej a_m między szynami głównym okrągłymi

$$a_m = a = 5,0 \text{ m}$$

Największa siła działająca na szyny

$$F_{m3} = \frac{\mu_0}{2 \cdot \Pi} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot (\sqrt{2} \cdot \kappa \cdot I_{k3}'')^2 \cdot \frac{1}{a_m} = \frac{4 \cdot \Pi \cdot 10^{-7}}{2 \cdot \Pi} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot (\sqrt{2} \cdot 1,81 \cdot 50 \cdot 10^3)^2 \cdot \frac{18}{5} = 10200 \text{ [N]}$$

Współczynnik γ z tabl. 4.9 odczytujemy, że $\gamma=2,45$

Moment bezwładności

$$J = \frac{\Pi}{64} \cdot (D^4 - d^4) = \frac{\Pi}{64} \cdot (0,16^4 - 0,148^4) = 8,62 \cdot 10^{-6} \text{ [m}^4\text{]}$$

Częstotliwość drgań szyn głównych

$$f_c = \frac{\gamma}{l^2} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot J}{m'}} = \frac{2,45}{(18)^2} \cdot \sqrt{\frac{7 \cdot 10^{10} \cdot 8,62 \cdot 10^{-6}}{7,84}} = 2,10 \text{ [Hz]}$$

Stosunek częstotliwości wynosi:

$$f_c / f = 2,1 / 50 = 0,042$$

Z wykresów na rys. 4.10 i tabl.4.9 odczytujemy dla pracy bez SPZ

$$V_\sigma = 0,31 \quad V_r = 1,0 \quad \beta = 0,73$$

Wskaźniki wytrzymałości zgodnie z tabl. 4.12

$$Z = \frac{J}{D/2} = \frac{8,62 \cdot 10^{-6}}{0,16/2} = 108 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

Naprężenie w szynach głównych zgodnie z wzorem (4.28)

$$\sigma_m = V_\sigma \cdot V_r \cdot \beta \cdot \frac{F_{m3} \cdot l}{8 \cdot Z} = 0,31 \cdot 1,0 \cdot 0,73 \cdot \frac{10200 \cdot 18,0}{8 \cdot 108 \cdot 10^{-6}} = 48,1 \cdot 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 48,1 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Współczynnik q

$$q = 1,7 \cdot \frac{1 - \left(1 - 2 \cdot \frac{s}{D}\right)^3}{1 - \left(1 - 2 \cdot \frac{s}{D}\right)^4} = 1,7 \cdot \frac{1 - \left(1 - 2 \cdot \frac{0,006}{0,16}\right)^3}{1 - \left(1 - 2 \cdot \frac{0,006}{0,16}\right)^4} = 1,32$$

Obliczone naprężenia muszą spełniać zależność

$$\sigma_{\text{tot}} = 48,1 \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right] \leq q \cdot R_{p0,2} = 1,32 \cdot 160 = 211 \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right]$$

Wniosek:

Zaproponowane szyny zbiorcze mogą być zainstalowane w rozważanej rozdzielni w sytuacji braku SPZ.

4.2.7.4. Dobór szyny rurowej w rozdzielni z SPZ [17]**Dane:**

Dla poprzednio rozważanej rozdzielni 380 kV sprawdzić szyny rurowe, pojedyncze, sztywne, z dwoma przęsłami mogą być zainstalowane w sytuacji działającej automatyki SPZ.

Z wykresów na rys. 4.10 i tabl. 4.9 odczytujemy dla pracy z SPZ

$$V_r = 1,8$$

Naprężenie w szynach głównych zgodnie z wzorem (4.28)

$$\sigma_m = V_\sigma \cdot V_r \cdot \beta \cdot \frac{F_{m3} \cdot l}{8 \cdot Z} = 0,31 \cdot 1,8 \cdot 0,73 \cdot \frac{10200 \cdot 18,0}{8 \cdot 108 \cdot 10^{-6}} = 86,6 \cdot 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 86,6 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Obliczone naprężenia muszą spełniać zależność

$$\sigma_{\text{tot}} = 86,6 \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right] \leq q \cdot R_{p0,2} = 1,32 \cdot 160 = 211 \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right]$$

Wniosek:

Zaproponowane szyny zbiorcze mogą być zainstalowane w rozważanej rozdzielni w sytuacji działania SPZ.

4.2.7.5. Dobór szyn giętkich

W stacji XXX 220 kV/110 kV można wyróżnić następujące przęsła oraz ich rozmiary:

- Autotransformator: $l=36,7$ m; $l_c=30,7$ m.
- Linia AAA: $l=40,6$ m; $l_c=34,6$ m.
- Linia BBB: $l=36,7$ m; $l_c=30,7$ m.
- Linia BBB, 1-sza bramka: $l=25,0$ m; $l_c=19,0$ m.
- Szyna zbiorcza 220 kV: $l=28,0$ m; $l_c=22,0$ m.
- Szyna zbiorcza I 110 kV: $l=14,0$ m; $l_c=10,8$ m.
- Szyna zbiorcza II 110 kV: $l=8,5$ m; $l_c=5,3$ m.

gdzie:

- l_c - długość przewodu w przęśle [m],
- l - odległość pomiędzy podporami w przęśle [m].

Inne dane:

- $I_{k3} = 40$ kA ; w rozdzielni 220 i 110 kV,
- $a = 3.5$ m w rozdzielni 220 kV,
- $a = 2.0$ m w rozdzielni 110 kV,
- jeden przewód w fazie w rozdzielni 220 i 110 kV AFL 8/525 o masie jednostkowej $m = 1.98 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}} \right]$, całkowitym przekroju $s = 587 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$, module Younga AFL - $E = 68 \cdot 10^9 \left[\frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right]$,
- naciąg przewodów przy temperaturze -20°C wynosi $F_{\text{st}-20} = 4903$ N (500 kG); naciąg przewodów przy temperaturze 60°C założono, że wynosi 80% naciągu przy temperaturze -20°C , czyli: $F_{\text{st}60} = 0.8 \cdot F_{\text{st}-20} = 0.8 \cdot 4903 = 3923$ N ,
- czas trwania zwarcia wynosi $T_{\text{kl}} = 0.5$ [s],
- stała sprężystości podpór wynosi $S = 10^5 \left[\frac{\text{N}}{\text{m}} \right]$,
- $g = 9,80665 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right]$,
- dla rozdzielni 220 kV $a_{\text{dop}} = 0.85$ [m],
- dla rozdzielni 110 kV $a_{\text{dop}} = 0.45$ [m].

Poniżej zostaną pokazane obliczenia dla przęsła Autotransformatora jak i identycznego przęsła linii BBB.

Statyczna siła jednostkowa podczas zwarcia

$$F'_0 = 0.00000015 \frac{(I_{k3})^2}{a} \cdot \frac{l_c}{l} = 0.00000015 \frac{40000^2}{3.5} \cdot \frac{30.7}{36.7} = 57.36 \quad \left[\frac{\text{N}}{\text{m}} \right]$$

Współczynnik r

$$r = \frac{F'_0}{n \cdot g \cdot m} = \frac{57.36}{1 \cdot 9.80665 \cdot 1.98} = 2.954$$

Kąt siły działającej na przewodnik w stanie początkowym

$$\delta_1 = \arctan r = \arctan(2.954) = 71.3 \quad [\text{stopnie}]$$

Zwis w stanie normalnym

Obliczenia zwisów, okresów oscylacji przewodów oraz sił działających na przewodniki i aparaturę należy wyznaczać przy temperaturze -20°C oraz 60°C .

$$b_{c-20} = \frac{n \cdot m \cdot g \cdot l^2}{8 \cdot F_{st-20}} = \frac{1.98 \cdot 9.80665 \cdot 36.7^2}{8 \cdot 4903} = 0.6667 \quad [\text{m}]$$

$$b_{c60} = \frac{n \cdot m \cdot g \cdot l^2}{8 \cdot F_{st60}} = \frac{1.98 \cdot 9.80665 \cdot 36.7^2}{8 \cdot 3923} = 0.8334 \quad [\text{m}]$$

Okres oscylacji swobodnych przewodnika

$$T_{-20} = 2 \cdot \Pi \cdot \sqrt{0,8 \cdot \frac{b_{c-20}}{g}} = 2 \cdot \Pi \cdot \sqrt{0,8 \cdot \frac{0.6667}{9.80665}} = 1.465 \quad [\text{s}]$$

$$T_{60} = 2 \cdot \Pi \cdot \sqrt{0,8 \cdot \frac{b_{c60}}{g}} = 2 \cdot \Pi \cdot \sqrt{0,8 \cdot \frac{0.8334}{9.80665}} = 1.638 \quad [\text{s}]$$

Okres oscylacji przewodnika podczas zwarcia

$$T_{res-20} = \frac{T_{-20}}{\sqrt[4]{1+r^2} \cdot \left[1 - \frac{\Pi^2}{64} \cdot \left(\frac{\delta_1}{90}\right)^2\right]} = \frac{1.465}{\sqrt[4]{1+2.954^2} \cdot \left[1 - \frac{\Pi^2}{64} \cdot \left(\frac{71.3}{90}\right)^2\right]} = 0.9186 \quad [\text{s}]$$

$$T_{res60} = \frac{T_{60}}{\sqrt[4]{1+r^2} \cdot \left[1 - \frac{\Pi^2}{64} \cdot \left(\frac{\delta_1}{90}\right)^2\right]} = \frac{1.638}{\sqrt[4]{1+2.954^2} \cdot \left[1 - \frac{\Pi^2}{64} \cdot \left(\frac{71.3}{90}\right)^2\right]} = 1.027 \quad [\text{s}]$$

Rzeczywisty moduł Younga

$$\frac{F_{st-20}}{n \cdot s} = \frac{4903}{587 \cdot 10^{-6}} = 8.353 \cdot 10^6 \quad \left[\frac{\text{N}}{\text{m}^2}\right] \leq \sigma_{fin}$$

$$E_{s-20} = E \cdot \left[0,3 + 0,7 \cdot \sin\left(\frac{F_{st-20}}{n \cdot a \cdot \sigma_{fin}} \cdot 90^\circ\right)\right] =$$

$$= 68 \cdot 10^9 \cdot \left[0,3 + 0,7 \cdot \sin\left(\frac{4903}{587 \cdot 10^{-6} \cdot 5 \cdot 10^7} \cdot 90^\circ\right)\right] = 2.832 \cdot 10^{10} \quad \left[\frac{\text{N}}{\text{m}^2}\right]$$

$$\frac{F_{st60}}{n \cdot s} = \frac{3923}{587 \cdot 10^{-6}} = 6.683 \cdot 10^6 \quad \left[\frac{\text{N}}{\text{m}^2}\right] \leq \sigma_{fin}$$

$$E_{s60} = E \cdot \left[0,3 + 0,7 \cdot \sin\left(\frac{F_{st60}}{n \cdot a \cdot \sigma_{fin}} \cdot 90^\circ\right)\right] =$$

$$= 68 \cdot 10^9 \cdot \left[0,3 + 0,7 \cdot \sin \left(\frac{3923}{587 \cdot 10^{-6} \cdot 5 \cdot 10^7} \cdot 90^\circ \right) \right] = 2.674 \cdot 10^{10} \quad \left[\frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right]$$

Współczynnik sztywności

$$N_{-20} = \frac{1}{S \cdot l} + \frac{1}{n \cdot E_{s-20} \cdot s} = \frac{1}{10^5 \cdot 36.7} + \frac{1}{2.832 \cdot 10^{10} \cdot 587 \cdot 10^{-6}} = 3.326 \cdot 10^{-7} \quad \left[\frac{1}{\text{N}} \right]$$

$$N_{60} = \frac{1}{S \cdot l} + \frac{1}{n \cdot E_{s60} \cdot s} = \frac{1}{10^5 \cdot 36.7} + \frac{1}{2.674 \cdot 10^{10} \cdot 587 \cdot 10^{-6}} = 3.362 \cdot 10^{-7} \quad \left[\frac{1}{\text{N}} \right]$$

Współczynnik ζ

$$\zeta_{-20} = \frac{(n \cdot g \cdot m \cdot l)^2}{24 \cdot F_{st-20}^3 \cdot N_{-20}} = \frac{(9.80665 \cdot 1.98 \cdot 36.7)^2}{24 \cdot 4903^3 \cdot 3.326 \cdot 10^{-7}} = 0,5396$$

$$\zeta_{60} = \frac{(n \cdot g \cdot m \cdot l)^2}{24 \cdot F_{st60}^3 \cdot N_{60}} = \frac{(9.80665 \cdot 1.98 \cdot 36.7)^2}{24 \cdot 3923^3 \cdot 3.362 \cdot 10^{-7}} = 1.043$$

Kąt wychylenia przewodów na końcu zwarcia

$$\frac{T_{kl}}{T_{res-20}} = \frac{0.5}{0.9186} = 0.5443 > 0.5$$

$$\delta_{k-20} = 2 \cdot \delta_1 = 2 \cdot 71.3 = 142.6^\circ$$

$$\frac{T_{kl}}{T_{res60}} = \frac{0.5}{1.027} = 0.4868 \leq 0.5$$

$$\delta_{k60} = \delta_1 \cdot \left[1 - \cos \left(360^\circ \cdot \frac{T_{kl}}{T_{res60}} \right) \right] = 71.3 \cdot \left[1 - \cos \left(360 \cdot \frac{0.5}{1.027} \right) \right] = 142.4^\circ$$

Maksymalny kąt wychylenia przewodów podczas zwarcia

$$\delta_{k-20} = 142.6^\circ > 90^\circ$$

$$\chi_{-20} = 1 - r = 1 - 2.954 = -1.954$$

$$\delta_{m-20} = 180^\circ$$

$$\delta_{k60} = 142.4^\circ \leq 90^\circ$$

$$\chi_{60} = 1 - r = 1 - 2.954 = -1.954$$

$$\delta_{m60} = 180^\circ$$

Współczynnik φ

$$\frac{T_{res-20}}{4} = \frac{0.9186}{4} = 0.2297 \leq T_{k1} = 0.5 \quad \text{oraz} \quad \frac{T_{res60}}{4} = \frac{1.027}{4} = 0.2568 \leq T_{k1} = 0.5$$

$$\varphi = 3 \cdot \left(\sqrt{1+r^2} - 1 \right) = 3 \cdot \left(\sqrt{1+2.954^2} - 1 \right) = 6.356$$

Współczynnik ψ

$$6.356^2 \cdot \psi_{-20}^3 + 6.356 \cdot (2 + 0.5396) \cdot \psi_{-20}^2 + (1 + 2 \cdot 0.5396) \cdot \psi_{-20} - 0.5396 \cdot (2 + 6.356) = 0$$

$$\psi_{-20} = 0.3525$$

$$6.356^2 \cdot \psi_{60}^3 + 6.356 \cdot (2 + 1.043) \cdot \psi_{60}^2 + (1 + 2 \cdot 1.043) \cdot \psi_{60} - 1.043 \cdot (2 + 6.356) = 0$$

$$\psi_{60} = 0.4439$$

Siła naciągu podczas zwarcia

$$F_{t-20} = F_{st-20} \cdot (1 + \varphi \cdot \psi_{-20}) = 4903 \cdot (1 + 6.356 \cdot 0.3525) = 15890 \quad [\text{N}]$$

$$F_{t60} = F_{st60} \cdot (1 + \varphi \cdot \psi_{60}) = 3923 \cdot (1 + 6.356 \cdot 0.4439) = 14990 \quad [\text{N}]$$

$$F_t = \max\{F_{t-20}; F_{t60}\} = \max\{15890; 14990\} = 15890 \quad [\text{N}]$$

Siła naciągu po zwarcia

$$F_{f-20} = 1,2 \cdot F_{st-20} \cdot \sqrt{1 + 8 \cdot \zeta_{-20} \cdot \frac{\delta_{m-20}}{180^\circ}} = 1,2 \cdot 4903 \cdot \sqrt{1 + 8 \cdot 0.5396 \cdot \frac{180}{180}} = 13570 \quad [\text{N}]$$

$$F_{f60} = 1,2 \cdot F_{st60} \cdot \sqrt{1 + 8 \cdot \zeta_{60} \cdot \frac{\delta_{m60}}{180^\circ}} = 1,2 \cdot 3923 \cdot \sqrt{1 + 8 \cdot 1.043 \cdot \frac{180}{180}} = 14390 \quad [\text{N}]$$

$$F_f = \max\{F_{f-20}; F_{f60}\} = \max\{13570; 14390\} = 14390 \quad [\text{N}]$$

Podsumowanie:

Siła naciągu działająca na przewody, konstrukcje wsporcze, izolatory oraz na uchwyty przewodów Autotransformator:

$$F = \max\{F_f; F_t\} = \max\{14390; 15890\} = 15890 [\text{N}] = 1620 [\text{kG}]$$

Linia AAA:

$$F = \max\{F_f; F_t\} = \max\{16350; 17310\} = 17310 \text{ [N]} = 1765 \text{ [kG]}$$

Linia BBB:

$$F = \max\{F_f; F_t\} = \max\{14390; 15890\} = 15890 \text{ [N]} = 1620 \text{ [kG]}$$

Linia BBB, 1-sza bramka:

$$F = \max\{F_f; F_t\} = \max\{9206; 11290\} = 11290 \text{ [N]} = 1151 \text{ [kG]}$$

Szyna zbiorcza 220 kV:

$$F = \max\{F_f; F_t\} = \max\{10400; 12510\} = 12510 \text{ [N]} = 1276 \text{ [kG]}$$

Szyna zbiorcza I 110 kV:

$$F = \max\{F_f; F_t\} = \max\{6630; 10490\} = 10490 \text{ [N]} = 1070 \text{ [kG]}$$

Szyna zbiorcza II 110 kV:

$$F = \max\{F_f; F_t\} = \max\{6064; 6818\} = 6818 \text{ [N]} = 695 \text{ [kG]}$$

Siła naciągu uchwytów przewodów

Szyny 220 kV

$$F_k = 1.5 \cdot F_{mx} = 1.5 \cdot 17.31 = 26.0 \quad \text{[kN]}$$

Szyny 110 kV

$$F_k = 1.5 \cdot F_{mx} = 1.5 \cdot 10.49 = 15.7 \quad \text{[kN]}$$

Poziome wychylenie przewodów

Obliczenia dla 220 kV:

$$\varepsilon_{ela} = N \cdot (F_t - F_{st}) = 3.362 \cdot 10^{-7} \cdot (14990 - 3923) = 0.003721$$

$$T_{kl} = 0.5 \text{ s} \geq \frac{T_{res}}{4} = \frac{1.027}{4} = 0.2568 \text{ s}$$

$$\varepsilon_{th} = c_{th} \cdot \left(\frac{I_{k3}}{n \cdot s} \right)^2 \cdot \frac{T_{res}}{4} = 0.27 \cdot 10^{-18} \cdot \left(\frac{40000}{0.000587} \right)^2 \cdot \frac{1.027}{4} = 0.000322$$

$$C_D = \sqrt{1 + \frac{3}{8} \cdot \left(\frac{1}{b_c}\right)^2 \cdot (\varepsilon_{ela} + \varepsilon_{th})} = \sqrt{1 + \frac{3}{8} \cdot \left(\frac{36.7}{0.8334}\right)^2 \cdot (0.003721 + 0.000322)} = 1.985$$

$$r = 2.954 \geq 1.8$$

$$C_F = 1.15$$

$$\delta_m = 180^\circ \geq \delta_1 = 71.30^\circ$$

$$b_h = C_F \cdot C_D \cdot b_c \cdot \sin \delta_1 = 1.15 \cdot 1.985 \cdot 0.8334 \cdot \sin(71.30^\circ) = 1.983 \quad [\text{m}]$$

Obliczenia dla szyn 110 kV:

$$\varepsilon_{ela} = N \cdot (F_t - F_{st}) = 7.780 \cdot 10^{-7} \cdot (9983 - 3923) = 0.004715$$

$$T_{k1} = 0.5 \text{ s} \geq \frac{T_{res}}{4} = \frac{0.3204}{4} = 0.0801 \text{ s}$$

$$\varepsilon_{th} = c_{th} \cdot \left(\frac{I_{k3}}{n \cdot s}\right)^2 \cdot \frac{T_{res}}{4} = 0.27 \cdot 10^{-18} \cdot \left(\frac{40000}{0.000587}\right)^2 \cdot \frac{0.3204}{4} = 0.000100$$

$$C_D = \sqrt{1 + \frac{3}{8} \cdot \left(\frac{1}{b_c}\right)^2 \cdot (\varepsilon_{ela} + \varepsilon_{th})} = \sqrt{1 + \frac{3}{8} \cdot \left(\frac{14}{0.1213}\right)^2 \cdot (0.004715 + 0.0001)} = 5.007$$

$$r = 4.768 \geq 1.8$$

$$C_F = 1.15$$

$$\delta_m = 180^\circ \geq \delta_1 = 78.15^\circ$$

$$b_h = C_F \cdot C_D \cdot b_c \cdot \sin \delta_1 = 1.15 \cdot 5.007 \cdot 0.1213 \cdot \sin(78.15^\circ) = 0.6834 \quad [\text{m}]$$

Poziome wychylenie przewodów podczas zwarcia wyznacza się jedynie dla temperatury obliczeniowej 60° C.

Minimalny odstęp izolacyjny występujący pomiędzy przewodami podczas zwarcia

Obliczenia dla szyn 220 kV:

$$a_{min} = a - 2 \cdot b_h = 3.5 - 2 \cdot 1.983 = -0.4655 \quad [\text{m}]$$

Warunek:

$$a_{min} = -0.4655 > a_{dop} = 1.85$$

nie jest spełniony, co oznacza konieczność zwiększenia odstepu pomiędzy przewodami dla szyn 220 kV.

Obliczenia dla szyn 110 kV:

$$a_{\min} = a - 2 \cdot b_h = 2 - 2 \cdot 0.6834 = 0.6333 \quad [\text{m}]$$

Warunek:

$$a_{\min} = 0.6333 > a_{\text{dop}} = 0.45$$

jest spełniony, co oznacza, odstepu pomiędzy przewodami dla szyn 110 kV jest właściwy.

Podjęto decyzję o zwiększenia odstepu pomiędzy przewodami szyn 220 kV do $a=4,6$ m. Poniżej zostaną podane wyniki obliczeń sił i wychyleń przewodów powodowanych zwarciami dla przyjętych zwiększonych odstepach pomiędzy przewodami.

Siła naciągu działająca na przewody, konstrukcje wsporcze, izolatory oraz na uchwyty przewodów dla przeseł o zwiększonych odstepach pomiędzy przewodami

Wyniki dla Linia AAA:

$$F = \max\{F_f; F_t\} = \max\{16350; 14150\} = 16350 [\text{N}] = 1668 [\text{kG}]$$

Siła naciągu uchwytów przewodów dla przeseł o zwiększonych odstepach pomiędzy przewodami

Siła naciągu uchwytów przewodów Szyny 220 kV wynosi:

$$F_k = 1.5 \cdot F_{\text{mx}} = 1.5 \cdot 16.35 = 24.5 \quad [\text{kN}]$$

Minimalny odstep izolacyjny występujący pomiędzy przewodami podczas zwarcia i minimalny dopuszczalny odstep izolacyjny dla przeseł o zwiększonych odstepach pomiędzy przewodami

Szyny 220 kV

$$a_{\min} = 0.92 [\text{m}] > a_{\text{dop}} = 0.85 [\text{m}]$$

Warunek ten jest spełniony, co oznacza właściwy odstep izolacyjny dla przeseł o zwiększonych odstepach pomiędzy przewodami.

Wnioski

Siła naciągu działająca na przewody, konstrukcje wsporcze oraz izolatory przy wyjściowej odległości pomiędzy przewodami podczas zwarcia lub po zwarcu w stacji XXX wynosi:

- Linia AAA, BBB i Autotransformator 17.3 kN czyli 1765 kG.
- Szyny 220 kV 12.5 kN, czyli 1276 kG.
- Szyny 110 kV 10.5 kN, czyli 1070 kG.

Siła naciągu działająca na uchwyty przewodów przy wyjściowej odległości pomiędzy przewodami podczas zwarcia lub po zwarcu w stacji XXX wynosi:

- Szyny 220 kV 26 kN, czyli 2650 kG,

- Szyny 110 kV 15.7 kN, czyli 1600 kG.

Wyznaczenie odstepu izolacyjnego występującego pomiędzy przewodami podczas zwarcia dowodzi, że dla stacji 220 kV wyjściowa odległość pomiędzy przewodami fazowymi jest zbyt mała. W wyniku dodatkowych obliczeń podjęto decyzję o zwiększenia odstepu pomiędzy przewodami szyny 220 kV do $a=4,6$ m. Przy powyższych wartościach minimalny odstep izolacyjny występujący pomiędzy przewodami podczas zwarcia jest większy od minimalnego dopuszczalnego odstepu izolacyjnego.

4.3. DOBÓR IZOLATORÓW STACYJNYCH

4.3.1. Uwagi ogólne

W stacjach elektroenergetycznych występują cztery typy izolatorów:

- liniowe,
- aparatowe,
- wsporcze,
- przepustowe.

Kryteria doboru izolatorów liniowych i aparatowych są zgodne z zasadami budowy napowietrznych linii elektroenergetycznych oraz zasadami budowy aparatów elektrycznych. Dalej zajmiemy się jedynie doбором izolatorów wsporczych i przepustowych dla mocowania szyn zbiorczych sztywnych. Szyny te powinny być zamocowane tak, aby siły niszczące nasadki i izolatory na skutek:

- wydłużenia się cieplnego szyn pod wpływem prądów roboczych i zwarciovych
- sił dynamicznych działających na szyny i izolatory podczas zwarć.

Dobór izolatorów wsporczych polega na określeniu:

- typu izolatora,
- wytrzymałości elektrycznej (znormalizowanego poziomu izolacji),
- odporności na zabrudzenie,
- wytrzymałości mechanicznej.

4.3.2. Dobór typu izolatora

Dobór typu izolatora wiąże się przede wszystkim z rozwiązaniem konstrukcyjnym rozdzielni np: wewnątrzowa czy napowietrzna. Ponadto należy określić materiał izolatora, rodzaj stopy (owalna, okrągła, kwadratowa), rodzaj nasadki dla umocowania szyn.

4.3.3. Dobór wytrzymałości elektrycznej izolacji izolatora

Wytrzymałość elektryczną izolatorów określa się w zależności od napięcia znamionowego sieci przyjmując znormalizowany poziom izolacji. Dobór izolatorów polega na sprawdzeniu, czy wytrzymałość elektryczna izolatora spełnia wymagania dotyczące napięć probierczych znormalizowanego poziomu izolacji rozdzielni. Zagadnienie to dokładniej omówiono w rozdziale 4.3.2.

4.3.4. Dobór odporności na zabrudzenie izolatora

Doboru odporności izolatorów na zabrudzenie dokonujemy w oparciu o normę PN-E-06303:1998 Narażenie zabrudzeniowe izolacji napowietrznej i dobór izolatorów do warunków

zabrudzeniowych [65]. Norma obejmuje dobór ceramicznych i szklanych izolatorów liniowych, stacyjnych i aparatowych do sieci o napięciu znamionowym powyżej 1 kV. Mimo ukazania się normy PN-IEC 815:1998 Wytyczne doboru izolatorów do warunków zabrudzeniowych [119] w praktyce krajowej zaleca się stosowanie poprzednio wymienionej normy opartej na dotychczasowych doświadczeniach krajowych.

W doborze izolatora ze względu na narażenie spowodowane zanieczyszczeniem atmosfery należy w pierwszej kolejności zakwalifikować teren, na którym znajduje się stacja do jednej z czterech stref zabrudzeniowych na podstawie maksymalnych wartości jednego z dwu głównych parametrów zanieczyszczenia atmosfery:

- średniodobowego wskaźnika przyrostu konduktywności wody $\Delta\gamma$,
- konduktywności zanieczyszczeń γ .

Przedziały wartości parametrów $\Delta\gamma$ oraz γ opowiadające poszczególnym strefom zabrudzeniowym podano w tabl. 4.16 [65]. Kryterium główne powinno być stosowane wszędzie tam, gdzie jest to możliwe.

Tabl. 4.16. Główne kryterium klasyfikacji terenu

Strefa zabrudzeniowa	Maksymalny średniodobowy wskaźnik przyrostu konduktywności wody destylowanej $\Delta\gamma_{\max}$	Maksymalna konduktywność zanieczyszczeń γ_m
	[$\mu\text{S}/\text{cm}$] na dobę	[$\mu\text{S}/\text{cm}$]
I	do 5	do 40
II	powyżej 6 do 10	powyżej 40 do 120
III	powyżej 10 do 25	powyżej 120 do 330
IV	powyżej 25	powyżej 330

W sytuacji, gdy występują szczególne warunki zabrudzeniowe (np. w warunkach dużego zapylenia lub występowania krótkotrwałych i przemijających stanów silnego zabrudzenia) można obok kryterium głównego zastosować kryterium pomocnicze oparte o jeden z dwóch parametrów uzupełniających:

- natężenia opadu zanieczyszczeń Q ,
- czasu wzrostu konduktywności wody destylowanej t_{200} .

Przedziały wartości Q oraz t_{200} opowiadające poszczególnym strefom zabrudzeniowym podano w tabl. 4.17 [65].

Dla terenów, na którym przewiduje się zmianę narażenia zabrudzeniowego w bliskiej przyszłości dopuszcza się stosowanie opisowego kryterium klasyfikacyjnego opisanego w [119]. Strefę zabrudzeniową należy wtedy ustalić przez analogię do sytuacji istniejącej w pobliżu innego zakładu przemysłowego.

Tabl. 4.17. Pomocnicze kryterium klasyfikacji terenu

Strefa zabrudzeniowa	Natężenia opadu zanieczyszczeń Q , w [g/m^2] na dobę	Czasu wzrostu konduktywności wody destylowanej t_{200} , w dobach
I	do 1,8	powyżej 14
II	powyżej 1,8 do 3,1	11 do 14
III	powyżej 3,1 do 7,2	7 do 10
IV	powyżej 7,2	do 6

Po zakwalifikowaniu terenu do odpowiedniej strefy zabrudzeniowej dokonujemy doboru izolatorów na podstawie jednego z dwóch kryteriów:

- charakterystyki zabrudzeniowej,

- drogi upływu.

W pierwszym przypadku za podstawę doboru przyjmuje się wartość 50-procentowego napięcia przeskoku zabrudzeniowego U_{pz} odpowiadającego konduktywności powłoki zabrudzeniowej K przyjmowanej zgodnie z tabl. 4.18 [65].

Tabl. 4.18. Konduktywności powłok przyjmowane jako graniczne dla poszczególnych stref zabrudzeniowych

Strefa zabrudzeniowa	Konduktywności powłoki zabrudzeniowej izolatora [μS]
I	8,0
II	16,0
III	30,0
IV	60,0

Kryterium można zastosować, gdy 50-procentowe napięcie przeskoku zabrudzeniowego U_{pz} jest wyższe od 90% najwyższego dopuszczalnego napięcia urządzenia U_m , czyli:

$$U_{pz} > 0,9 U_m \quad (4.102)$$

Kryterium drogi upływu izolatorów jest spełnione, gdy izolator spełnia wymagania zawarte w tabl. 4.19. Planując lokalizację stacji w IV strefie zabrudzeniowej powinno się uwzględnić:

- na terenie IV strefy zabrudzeniowej nie należy lokalizować stacji napowietrznych o napięciu niższym niż 220 kV,
- na zewnątrz rozdzielni wewnętrznych dopuszcza się instalowanie transformatorów oraz izolatorów przepustowych,
- stacje napowietrzne o napięciu nominalnym 220 i 400 kV można lokalizować na terenie IV strefy tylko w wypadkach szczególnie uzasadnionych pod względem technicznym i ekonomicznym, należy wówczas przewidzieć stosowanie eksploatacyjnych środków ochrony izolacji napowietrznej przed zabrudzeniem (czyszczenie, pokrywanie pastami hydrofobizującymi).

Tabl. 4.19. Dobór izolatorów stacyjnych i aparatowych według ich znamionowych dróg upływu

Najwyższe dopuszczalne napięcie urządzenia	Napięcie znamionowe sieci	Strefa zabrudzeniowa			
		I	II	III	IV
[kV]		Minimalna znamionowa droga upływu w mm ¹⁾			
12	10	200	300	350	350 ^{3), 4)}
17,5	15	300	400	500	520 ^{3), 4)}
24	20	400	550	700	720 ^{3), 4)}
36	30	600	800	1100	1100 ^{3), 4)}
72,5	60	1200	1600	2100	2250 ^{3), 4)}
123	110	2000	2600 2350 ⁴⁾	3400 3050 ³⁾	3050 ^{3), 4)}
245	220	3900	5200 4700 ⁴⁾	6800 6100 ³⁾	- ⁵⁾
420	400	6700	9200 8000 ⁴⁾	11600 10500 ³⁾	- ⁵⁾

- | | |
|----|---|
| 1) | Tolerancja długości dróg upływu izolatorów według PN-IEC 383-1. |
| 3) | Pod warunkiem stosowania w eksploatacji zabiegów profilaktycznych (czyszczenie, hydrofobizacja powierzchni izolatorów - przede wszystkim pracujących w pozycji pionowej). |
| 4) | Dotyczy izolatorów przepustowych napowietrzno-wnętrzowych i transformatorowych. |
| 5) | Izolatory należy zaprojektować indywidualnie. |

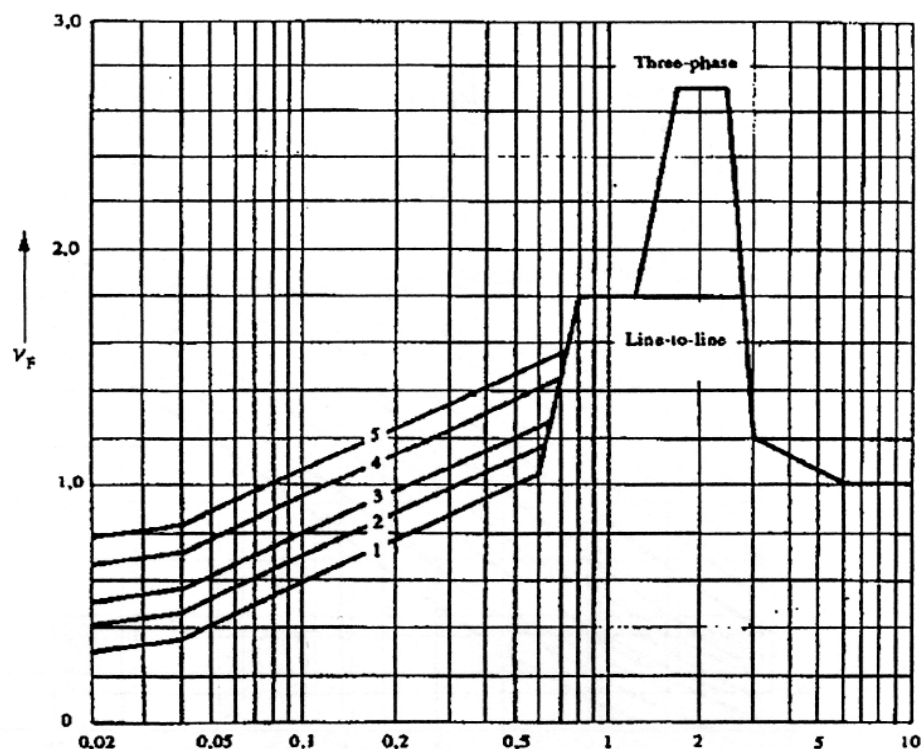
4.3.5. Dobór wytrzymałości mechanicznej izolatora

Wytrzymałości mechaniczną izolatorów wsporczych dobiera się porównując dynamiczną siłę zginającą F_d działającą na izolator z dopuszczalną wytrzymałości znamionową izolatora. Siłę F_d wyznacza się z wzoru:

$$F_d = V_F \cdot V_r \cdot \alpha \cdot F_{m3} \quad [N] \quad (4.103)$$

gdzie:

- V_F - współczynnik uwzględniający częstotliwość drgań własnych szyn, przyjmuje się zgodnie z rys. 4.35 lub tabl. 4.20,
- V_r - współczynnik zależny od stosowania SPZ, wg rys. 4.20 lub wzoru (4.44),
- α - współczynnik zależny od sposobu mocowania przewodu i liczby podpór, którego wartość można znaleźć w tabl. 4.10,
- F_{m3} - wartość siły obliczona z wzoru (4.28).



Rys.4.35. Współczynnik V_F

Tabl. 4.20. Wartości współczynnika V_F

f_c/f	Współczynnik V_F	
	Dla zwarcia trójfazowego	Dla zwarcia dwufazowego
<0,04	$0,232 + 3,52 \cdot e^{-1,45 \cdot \kappa} + 0,166 \cdot \lg(f_c/f)$ ¹⁾	
0,04÷0,8	Wartość maksymalna z dwóch poniższych wartości V_{F1} oraz V_{F2}	
	$V_{F1} = 0,839 + 3,52 \cdot e^{-1,45 \cdot \kappa} + 0,6 \cdot \lg(f_c/f)$ ¹⁾	
	$V_{F2} = 2,38 + 6,0 \cdot \lg(f_c/f)$	
0,8÷1,2	1,8	
1,2÷1,6	$1,23 + 7,2 \cdot \lg(f_c/f)$	1,8
1,6÷2,4	2,7	
2,4÷2,74	$8,59 - 15,5 \cdot \lg(f_c/f)$	1,8
2,74÷3,0	$8,59 - 15,5 \cdot \lg(f_c/f)$	
3,0÷6,0	$1,50 - 0,646 \cdot \lg(f_c/f)$	
>6,0	1,0	

¹⁾ Jeśli $\kappa > 1,6$ wtedy należy przyjąć, że $\kappa = 1,6$.

Wartości maksymalne $V_F \cdot V_r$ można wyznaczyć bez uwzględniania częstotliwości drgań przewodów w sposób uproszczony, a mianowicie:

- dla zwarcia trójfazowego

$$V_F \cdot V_r = 2,7 \text{ dla } \frac{\sigma_{\text{tot}}}{0,8 \cdot R_{\text{po},2}} \leq 0,370 \quad (4.104)$$

$$V_F \cdot V_r = \frac{0,8 \cdot R_{\text{po},2}}{\sigma_{\text{tot}}} \text{ dla } 0,370 < \frac{\sigma_{\text{tot}}}{0,8 \cdot R_{\text{po},2}} < 1,0 \quad (4.105)$$

$$V_F \cdot V_r = 1,0 \text{ dla } 1,0 \leq \frac{\sigma_{\text{tot}}}{0,8 \cdot R_{\text{po},2}} \quad (4.106)$$

Powyższe wzory zostały przedstawione również za pomocą wykresu na rys. 4.36.

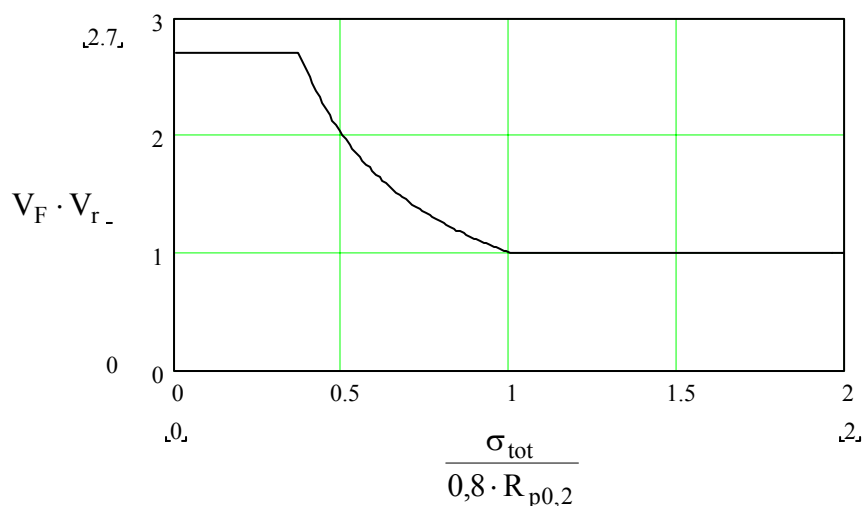
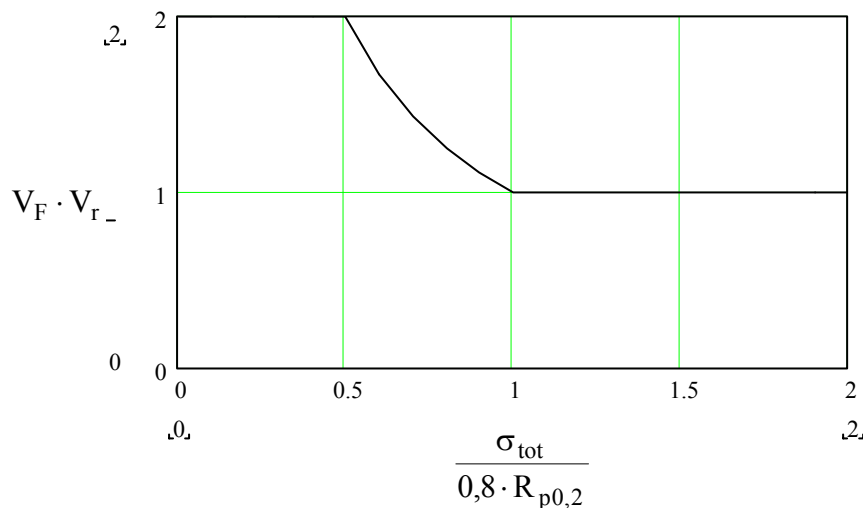
- dla zwarcia dwufazowego

$$V_F \cdot V_r = 2,0 \text{ dla } \frac{\sigma_{\text{tot}}}{0,8 \cdot R_{\text{po},2}} \leq 0,5 \quad (4.107)$$

$$V_F \cdot V_r = \frac{0,8 \cdot R_{\text{po},2}}{\sigma_{\text{tot}}} \text{ dla } 0,5 < \frac{\sigma_{\text{tot}}}{0,8 \cdot R_{\text{po},2}} < 1,0 \quad (4.108)$$

$$V_F \cdot V_r = 1,0 \text{ dla } 1,0 \leq \frac{\sigma_{\text{tot}}}{0,8 \cdot R_{\text{po},2}} \quad (4.109)$$

Powyższe wzory zostały przedstawione również za pomocą wykresu na rys. 4.37.

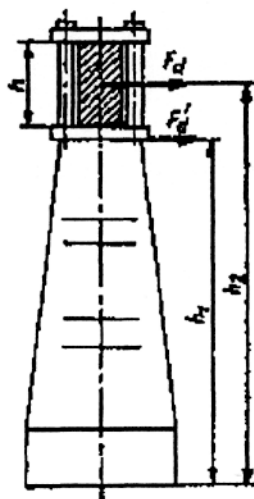
Rys.4.36. Współczynnik $V_F \cdot V_r$ dla zwarcia trójfazowegoRys.4.37. Współczynnik $V_F \cdot V_r$ dla zwarcia dwufazowego

Ponieważ wytrzymałość izolatora podawana jest jako siła przyłożona na poziomie górnej płaszczyzny siłą F_d należy sprowadzić do tego poziomu powiększając ją tak, aby wywoływała taki sam moment gnący (rys. 4.38). Wytrzymałość mechaniczna izolatora musi spełniać warunek:

$$F_m \geq k_b \cdot F_d \cdot \frac{h_2}{h_1} \quad [\text{N}] \quad (4.110)$$

gdzie:

- k_b - współczynnik bezpieczeństwa, wg [52] równy 1,1,
- h_1, h_2 - wysokości izolatora z punktu przyłożenia siły.



Rys. 4.38. Miejsca przyłożenia sił działających na izolator

Wytrzymałość mechaniczną izolatorów wsporczych i przepustowych na zginanie określa się na wynoszącą 2, 4, 8, 12, 30 kN. Dawniej wymienionym wartościom wytrzymałości przypisywało się klasy, odpowiednio 0, A, B, C, D.

4.3.6. Dobór izolatorów przepustowych

Izolatory stacyjne przepustowe dobiera się tak jak wsporcze określając:

- typu izolatora,
- wytrzymałości elektrycznej (znormalizowanego poziomu izolacji),
- odporności na zabrudzenie,
- wytrzymałości mechanicznej.

Ponadto dobiera się je na:

- obciążalność prądem roboczym,
- cieplną obciążalność zwarciovą.

Obciążalność prądem roboczym jest wystarczająca, jeżeli prąd znamionowy izolatora I_r spełnia warunek:

$$I_r \geq I_{obl} \quad [A] \quad (4.111)$$

gdzie:

- I_{obl} - maksymalny prąd roboczy (obliczeniowy).

Izolator przepustowy ma wystarczającą wytrzymałość cieplną zwarciovą, jeżeli jego znamionowy krótkotrwały prąd cieplny I_{thr} określony dla czasu trwania t_{kr} spełnia zależność:

$$I_{thr} \geq I_{th} \quad \text{dla} \quad t_{kr} \geq t_k \quad (4.112)$$

gdzie:

- I_{th} - cieplny zastępczy prąd zwarciovą obliczony zgodnie z wzorem (4.2),
- t_k - czas trwania zwarcia.

4.4. DOBÓR APARATURY ŁĄCZENIOWEJ

4.4.1. Warunki pracy aparatów

Środowiskiem, w którym pracują aparaty elektryczne jest powietrze charakteryzowane następującymi parametrami:

- temperatura,
- ciśnienie,
- wilgotność,
- zawartość zanieczyszczeń obojętnych chemicznie (kurz),
- zawartość zanieczyszczeń aktywnych chemicznie (np. związki siarki, sól), palnych (np. pył węglowy lub drzewny, mąka), wybuchowych (np. metan, pary benzyny).

W warunkach zainstalowania urządzeń na zewnątrz pomieszczeń należy dodatkowo uwzględnić:

- rozkład i nasilenie opadów deszczu, śniegu, sadzi, gradu, mgły,
- możliwość występowania i siła wiatrów,
- możliwość występowania gwałtownych zmian danego stanu klimatycznego.

Bardzo istotną sprawą jest również posiadanie dostatecznych informacji na temat mikroklimatu, którego uwzględnienie może spowodować zaostrenie niektórych wymagań wynikających z ogólnych cech klimatycznych.

Aparaty muszą być tak zbudowane, aby były odporne na szkodliwe oddziaływanie środowiska. Rozróżnia się dwie podstawowe konstrukcje aparatów związane z oddziaływaniem środowiska:

- wewnętrzne,
- napowietrzne.

Normalne i specjalne warunki pracy aparatów elektrycznych określone są w normie PN-EN 60694 Postanowienia wspólne dotyczące norm na wysokonapięciową aparaturę rozdzielczą i sterowniczą [102]. Normalne warunki pracy aparatów określone w tej normie są zebrane w tabl. 4.21.

Tabl. 4.21. Normalne warunki pracy dla rozdzielni wewnętrznych i napowietrznych

Warunek pracy	Dla rozdzielni wewnętrznych	Dla rozdzielni napowietrznych
a) Temperatura otoczenia	Nie przekracza 40°C, średnia 24 h nie przekracza 35°C Minimalna temperatura otoczenia wynosi: - 5 °C dla klasy „minus 5, warunki wewnętrzne”, - 15 °C dla klasy „minus 15, warunki wewnętrzne”, -25 °C dla klasy „minus 25, warunki wewnętrzne”.	Temperatura otoczenia nie przekracza 40°C, a jej średnia wartość mierzona przez 24 h nie przekracza 35°C. Minimalna temperatura otoczenia wynosi: - 10 ° C dla klasy „minus 10, warunki napowietrzne”, - 25 °C dla klasy „minus 25, warunki napowietrzne”, - 40 °C dla klasy „minus 40, warunki napowietrzne”
b) Wpływ promieniowania słonecznego	Może być pominięty	Promieniowanie słoneczne do poziomu 1000 W/m ² (w południe dnia słonecznego) powinno być uwzględniane.
c) Wysokość nad poziomem morza	Nie przekracza 1000 m	Nie przekracza 1000 m
d) Zanieczyszczenie powietrza	Nie jest praktycznie zanieczyszczone przez pyły, dym, gazy palne lub powodujące korozję, pary albo sól	Powietrze otaczające może być zanieczyszczone przez pyły, dym, gaz powodujący korozję, pary albo sól. Zanieczyszczenie nie przekracza poziomu zanieczyszczeń II - średniego wg tablicy 1

		w IEC815 [119].
e) Wilgotność powietrza	Określona następująco: - średnia dobowa wilgotność względna powietrza nie powinna przekraczać 95%, - średnie dobowe ciśnienie pary wodnej nie przekracza 2,2 kPa, - średnia miesięczna wilgotność względna powietrza nie powinna przekraczać 90%, - średnie miesięczne ciśnienie pary nie przekracza 1,8 kPa. W tych warunkach kondensacja może nastąpić sporadycznie.	
f) Wibracje	Wibracje pochodzenia zewnętrznego lub wywołane trzęsieniami ziemi są pomijalne	Wibracje pochodzenia zewnętrznego lub wywołane trzęsieniami ziemi są pomijalne
g) Indukowane zakłócenia w obwodach wtórnych	Nie przekraczają wartości szczytowej 1,6 kV	Nie przekraczają wartości szczytowej 1,6 kV
h) Oblodzenie		Grubość warstwy lodu nie przekracza 1 mm dla klasy 1, 10 mm dla klasy 10 i 20 mm dla klasy 20
i) Wiatr		Prędkość wiatru nie przekracza 34m/s (co odpowiada 700 Pa na powierzchniach cylindrycznych).
j) Inne czynniki atmosferyczne		Należy brać pod uwagę występowanie kondensacji lub opadów.

Poza normalnymi warunkami pracy norma [102] określa również specjalne warunki pracy o bardziej ekstremalnych parametrach wysokości, temperatury wilgotności, zanieczyszczenia i wibracji. W warunkach krajowych stosunkowo często mogą wystąpić specjalne warunki pracy związane z zanieczyszczeniami powietrza. Specjalne warunki występują dla stref zabrudzeniowych III-ciej i IV-tej. Strefę zabrudzeniową należy wg [102] określić na podstawie cech charakterystycznych otoczenia przytoczonych w tabl. 4.22 za normą PN-IEC 815 [119]. W praktyce krajowej zaleca się stosować metodę dokładniejszą zawartą w normie [65] a opisaną w rozdziale 4.2.4.

Tabl. 4.22. Określanie stref zanieczyszczenia powietrza na podstawie typowy warunków otoczenia (wg [119])

Poziom narażenia zabrudzeniowego	Przykłady typowych warunków otoczenia
1- Niski	<ul style="list-style-type: none"> - Tereny nieuprzemysłowione o rzadkiej zabudowie mieszkalnej, z urządzeniami grzewczymi (węglowymi) - Tereny słabo uprzemysłowione lub o rzadkiej zabudowie mieszkalnej, gdzie często występują wiatry lub opady deszczu - Tereny rolnicze¹⁾ - Tereny górzyste <p>Wszystkie to tereny powinny znajdować się przynajmniej od 10 km do 20 km od morza i nie powinny być narażone na bezpośrednie oddziaływanie wiatrów wiejących od morza²⁾.</p>

II -Średni	- Tereny uprzemysłowione, gdzie nie występują dymy o dużej zawartości zanieczyszczeń, lub tereny o średniej gęstości zabudowy mieszkalnej wyposażonej w urządzenia grzewcze (węglowe) - Tereny o dużej gęstości zabudowy mieszkalnej lub tereny przemysłowe, gdzie często występują wiatry lub opady deszczu - Tereny narażone na oddziaływanie wiatrów wiejących od morza, lecz nie przylegające bezpośrednio do wybrzeża morskiego (odległe od wybrzeża przynajmniej o kilka kilometrów) ²⁾
III -Wysoki	- Tereny silnie uprzemysłowione, przedmieścia wielkich miast, gdzie jest zainstalowana duża liczba urządzeń cieplnych emitujących zanieczyszczenia - Tereny przybrzeżne lub narażone na oddziaływanie stosunkowo silnych wiatrów wiejących od morza ²⁾ .
IV -Bardzo wysoki	- Tereny o ograniczonej najczęściej rozległości, narażone na oddziaływanie przewodzących pyłów i dymów przemysłowych, powodujących tworzenie się na powierzchni izolatorów szczególnie grubych, przewodzących warstw osadów - Tereny o ograniczonej najczęściej rozległości, przylegające do wybrzeża morskiego i narażone na oddziaływanie rozpylonej wody morskiej lub bardzo silnych wiatrów od morza, unoszących kropelki słonej wody morskiej - Tereny pustynne charakteryzujące się brakiem deszczu przez długi czas, narażone na oddziaływanie silnych wiatrów przenoszących piasek i sól, gdzie regularnie występuje kondensacja pary wodnej
¹⁾	Stosowanie nawozów za pomocą rozpylania lub palenia pozostałości po zbiorach upraw rolnych może prowadzić do zwiększenia poziomu narażenia zabrudzeniowego z uwagi na rozproszenie zanieczyszczeń powodowanych wiatrem.
²⁾	Odległość od wybrzeża morskiego zależy od topografii obszaru przybrzeżnego i od warunków występowania szczególnie silnych wiatrów.

4.4.2. Wielkości znamionowe wspólne dla aparatury rozdzielczej

4.4.2.1. Wprowadzenie

Aparaty rozdzielcze oraz związane z nimi napędy mają następujący wspólny zestaw danych znamionowych:

- napięcie znamionowe (U_r),
- poziom znamionowy izolacji,
- częstotliwość znamionowa (f_r),
- prąd znamionowy ciągły (I_r),
- prąd znamionowy krótkotrwały wytrzymawany (I_k),
- prąd znamionowy szczytowy wytrzymawany (I_p),
- czas znamionowy trwania zwarcia (t_k),
- napięcie znamionowe napędów i obwodów pomocniczych (U_a),
- częstotliwość znamionowa zasilania napędów i obwodów pomocniczych,
- ciśnienie znamionowe zasilania sprężonym gazem dla izolacji lub napędu.

4.4.2.2. Napięcie znamionowe U_r

Napięcie znamionowe jest najwyższym napięciem, przy którym urządzenie może poprawnie pracować ze względu na izolację i inne cechy techniczne. Tak zdefiniowane napięcie znamionowe urządzenia porównuje się z najwyższym napięciem roboczym sieci U_m i powinno spełniać zależność:

$$U_r \geq U_m \quad (4.113)$$

4.4.2.3. Poziom znamionowy izolacji

Poziom znamionowy izolacji określa się, jak to już wcześniej omówiono w rozdziale 3, dwoma spośród trzech napięć probierczych:

- przemiennego,
- piorunowego,
- łączeniowego.

Wielkości te określa się w zależności od napięcia znamionowego sieci U_{sn} . W tabl. 4.23 podano wartości napięć probierczych wytrzymywanych dla niektórych napięć znamionowych urządzeń należących do zakresu napięciowego I, natomiast w tabl. 4.24 dla zakresu II.

Tabl. 4.23. Poziomy znamionowe izolacji dla niektórych napięć znamionowych z zakresu I

Napięcie znamionowe U_r , w kV (wartość skuteczna)	Znamionowe napięcie wytrzymywane udarowe piorunowe U_p , w kV (wartość szczytowa)		Znamionowe napięcie wytrzymywane krótkotrwałe o częstotliwości sieciowej U_d , w kV (wartość szczytowa)	
	Wartość podstawowa (izolacja faza-ziemia, faza-faza, otwartego łącznika)	Wzdłuż przerwy izolacyjnej (izolacja bezpiecznej przerwy izolacyjnej)	Wartość podstawowa (izolacja faza-ziemia, faza-faza, otwartego łącznika)	Wzdłuż przerwy izolacyjnej (izolacja bezpiecznej przerwy izolacyjnej)
1	2	3	4	5
7,2	40	46	20	23
	60	70	20	23
17,5	75	85	38	45
	95	110	38	45
24	95	110	50	60
	125	145	50	60
36	145	165	70	80
	170	195	70	80
123	450	520	185	210
	550	630	230	265
245	850	950	360	415
	950	1050	395	460
	1050	1200	460	530

Tabl. 4.24. Poziomy znamionowe izolacji dla niektórych napięć znamionowych z zakresu II

Napięcie znamionowe U_r , w [kV] (wartość skuteczna)	Znamionowe napięcie wytrzymywane krótkotrwałe o częstotliwości sieciowej U_d [kV] (wartość skuteczna)		Znamionowe napięcie wytrzymywane udarowe łączeniowe U_s , w [kV] (wartość szczytowa)			Znamionowe napięcie wytrzymywane udarowe piorunowe U_p , w [kV] (wartość szczytowa)	
	Faza-ziemia i międzyfazami	Wzdłuż otwartego łącznika i/lub przerwy izolacyjnej	Faza ziemia i wzdłuż otwartego łącznika	Międzyfazami	Wzdłuż przerwy izolacyjnej	Faza ziemia i międzyfazami	Wzdłuż izolacji łącznika i/lub przerwy izolacyjnej
1	2	3	4	5	6	7	8
420	520	610	950	1425	900 (+345)	1300	1300 (+240)
	520	610	1050	1575	900 (+345)	1425	1425 (+240)

800	830	1150	1300	2210	1100 (+650)	1800 2100	1800 (+455)
	830	1150	1425	2420	1100 (+650)		2100 (+455)

Wartości podane w nawiasach w kol. 6 są to wartości szczytowe napięcia o częstotliwości sieciowej $U_r \cdot \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$ doprowadzone do przeciwnego zacisku (napięcie skojarzone).

Wartości podane w nawiasach w kol. 8 są to wartości szczytowe napięcia o częstotliwości sieciowej $0,7 \cdot U_r \cdot \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$ doprowadzone do przeciwnego zacisku (napięcie skojarzone).

Napięcia probiercze powinny być wybrane z uwzględnieniem stopnia narażenia na przepięcia łączeniowe i piorunowe, sposobu uziemienia punktu neutralnego sieci oraz rodzaju urządzeń ograniczających przepięcia. Wartości napięć probierczych podane dla napięć znamionowych 123 i 245 kV dotyczą sieci ze skutecznie uziemionym punktem neutralnym i współczynnikiem zwarcia doziemnego nie większym niż 1,4. Zaleca się stosować mniejsze wartości napięć probierczych dla urządzeń przeznaczonych dla sieci 220 kV, jeżeli współczynnik zwarcia doziemnego jest nie większy niż 1,3. W uzupełnieniu do PN-EN 60071-1 [83] znamionowe napięcia wytrzymywane o częstotliwości sieciowej jest dodane do napięć znamionowych zakresu II w celu sprawdzenia wytrzymałości izolacji na przepięcia dorywcze. Dokładniejsze uzasadnienie przyjętych wartości znamionowych zawiera załącznik D normy [102].

4.4.2.4. Częstotliwość znamionowa f_r

Znormalizowanymi wartościami częstotliwości znamionowej są: $16\frac{2}{3}$, 50 i 60 Hz.

4.4.2.5. Prąd znamionowy ciągły I_r

Prąd znamionowy ciągły aparatu jest to wartość skuteczna prądu, który może przewodzić tor prądowy w sposób ciągły w określonych warunkach użytkowania i działania. Prąd znamionowy ciągły określony jest tak, aby żadna część łącznika znajdującego się w otoczeniu o temperaturze 40 °C nie przekroczyła dopuszczalnych wartości temperatur. Przykładowo dopuszczalne wartości temperatur wynoszą:

- a) dla styków z miedzi i stopów miedzi gołych umieszczonych:
 - ◆ w powietrzu 75 °C,
 - ◆ w SF₆ 90 °C,
 - ◆ w oleju 80 °C,
- b) dla styków srebrzonych lub niklowanych umieszczonych:
 - ◆ w powietrzu 105 °C,
 - ◆ w SF₆ 105 °C,
 - ◆ w oleju 90 °C.

Prąd znamionowy ciągły aparatu powinien być wybrane z szeregu liczb: 1-1,25-1,6-2-2,5-3,15-4-5-6,3-8 i iloczynu tych liczb przez: 10-100-1000. Jest to tzw. szereg R10 ustalony przez IEC zgodnie z zasadami sformułowanymi w normie ISA 32 Standard Numbers, która została przyjęta w Sztokholmie w 1934 r.

4.4.2.6. Prąd znamionowy krótkotrwały wytrzymywany I_k

Prąd znamionowy krótkotrwały wytrzymywany jest to wartość prądu, którą aparat może przewodzić w stanie zamknięcia w ciągu określonego krótkiego czasu. Określa on zdolność

wytrzymywania cieplnych skutków prądu zwarciovego. Aparat ma dostateczną wytrzymałość na działanie cieplne prądu zwarciovego, jeżeli są spełnione zależności:

$$I_{th} \leq I_k \cdot \sqrt{\frac{t_k}{t_z}} \quad \text{dla} \quad t_z > t_k \quad (4.114)$$

$$I_{th} \leq I_k \quad \text{dla} \quad t_z \leq t_k \quad (4.115)$$

gdzie:

- I_{th} - zastępczy prąd zwarciovowy cieplny,
- t_z - czas trwania zwarcia,
- t_k - czas wytrzymywania prądu znamionowego krótkotrwałego.

4.4.2.7. Prąd znamionowy szczytowy wytrzymywany I_p

Prąd znamionowy szczytowy wytrzymywany jest to wartość szczytowa prądu, którą aparat w stanie zamknięcia może przewodzić w przepisanych warunkach użytkowania i zachowania się. Określa on zdolność wytrzymywania skutków elektromechanicznych działania prądu zwarciovego, i jest on równy 2,5-krotnej wartości prądu znamionowego krótkotrwałego wytrzymywanego. Aparat ma wystarczającą wytrzymałość na elektromechaniczne działanie prądu zwarciovego, jeżeli zachodzi zależność:

$$I_p \geq i_p \quad (4.116)$$

gdzie:

- i_p - prąd zwarciovowy udarowy.

Ponad to obciążenie mechaniczne zacisków nie powinno przekraczać wartości dopuszczalnych podanych przez wytwórcę. Dla rozdzielni wewnętrznych ze sztywnymi połączeniami aparatu podaje się dopuszczalną odległość najbliższego wspornika szyn l_{max} . Rzeczywista odległość wspornika szyn l powinna spełniać równanie:

$$l \leq l_{max} \cdot \left(\frac{I_p}{i_p} \right)^2 \quad (4.117)$$

4.4.2.8. Czas znamionowy trwania zwarcia t_k

Czas znamionowy trwania zwarcia jest to okres, w którym aparat może przewodzić w stanie zamkniętym prąd równy jego znamionowemu prądowi krótkotrwałemu wytrzymywanemu. Znormalizowana wartość czasu trwania zwarcia wynosi 1 s. Jeżeli jest konieczne, może być wybrana wartość 0,5 s, 2 s lub 3 s.

4.4.2.9. Wielkości znamionowe napędów i obwodów pomocniczych

Znamionowe napięcie zasilania napędów i obwodów pomocniczych U_a powinno być wybierane:

- dla napięcia stałego spośród wartości: 24 V, 48 V, 60 V, 110 (125) V, 220 (250) V,

- dla napięcia przemiennego w układach trójfazowych 230/400 V,
- dla napięcia przemiennego w układach jednofazowych 230 V.

Obecnie występują także i inne wartości napięć znamionowych zasilania napędów i obwodów pomocniczych. Napędy powinny zamykać i otwierać łącznik przy dowolnej wartości napięcia z przedziału $(85\div 110)\%$ wartości znamionowej.

Częstotliwość znamionowa zasilania napędów i obwodów pomocniczych wynosi 50 Hz lub 60 Hz.

Znormalizowane wartości ciśnienia gazu dla napędów i izolacji wynoszą: 0,5 MPa, 1 MPa, 1,6 MPa, 2 MPa, 3 MPa, 4 MPa. Napędy pneumatyczne powinny zamykać i otwierać łącznik przy dowolnej wartości ciśnienia z przedziału $(85\div 110)\%$ wartości znamionowej.

4.4.3. Dobór wyłącznika

4.4.3.1. Wprowadzenie

Doboru wyłącznika dokonuje się przez porównanie jego danych znamionowych z warunkami obciążeniowymi i zwarciovymi a całość tego doboru musi być poprzedzona ogólnym doбором typu i rodzaju wykonania wyłącznika związanym z:

- warunkami klimatycznymi i atmosferycznymi,
- charakterystycznymi cechami obciążenia i zakłóceń.

Rodzaj wykonania wynika jednoznacznie z miejsca zainstalowania wyłącznika i panującymi tam warunkami klimatycznymi i atmosferycznymi określonymi już w rozdziale 4.3.1, tabl. 4.10. Jeżeli warunki klimatyczne i atmosferyczne są ostrzejsze niż dla wymienionych klas należy skonsultować się z producentem. Jeżeli warunki klimatyczne i atmosferyczne w niektórych obszarach są dla wyłączników napowietrznych niekorzystne ze względu na dym, wyziewy chemiczne, mgłę solną i tym podobne należy przewidzieć specjalne wykonanie części wyłącznika wrażliwych na poszczególne czynniki, zwłaszcza izolatorów. Dobór izolatorów do warunków zabrudzeniowych podaje już omawiana w rozdziale 4.2.4 norma [52]. W przypadku wyłączników wewnętrznych należy skonsultować się z producentem, co do jakichkolwiek specjalnych warunków np. występowania wyziewów chemicznych, atmosfery agresywnej, mgły solnej itd.

Typy wyłączników związane są ze sposobem gaszenia łuku. Obecnie stosowane są następujące typy wyłączników:

- małoolejowe,
- pneumatyczne (powietrzne),
- z sześćciofluorkiem siarki (SF_6),
- próżniowe,
- magnetowydmuchowe.

Wyłączniki na napięcie 110 kV i wyższe budowane są jako:

- małoolejowe,
- pneumatyczne (powietrzne),
- z sześćciofluorkiem siarki (SF_6).

Produkcja wyłączników pełnoolejowych została już definitywnie zakończona, ale można je jeszcze spotkać na stacjach. Również produkcja wyłączników małoolejowych na wysokie napięcia została już zakończona przez większość producentów, ale duże ich ilości znajdują się w eksploatacji. Ostatnio producenci zaczęli się wycofywać z produkcji wyłączników pneumatycznych. W nowych rozdzielniach wysokich napięć wyłączniki z SF_6 prawie zupełnie wyparły inne typy wyłączników. Na napięcia średnie budowane i instalowane są wyłączniki małoolejowe, z SF_6 , próżniowe i magnetowydmuchowe.

Szeroko rozpowszechnione i najtańsze są wyłączniki małoolejowe. Gaszenie łuku odbywa się w nich w specjalnych komorach gaszeniowych wykonanych z materiałów izolacyjnych o dużej wytrzymałości mechanicznej (żywice epoksydowe z dodatkiem włókien szklanych). Obecnie stosuje się komory gaszeniowe sztywne, w których gazy i pary oleju powstałe pod wpływem łuku mają utrudnioną drogę wydostania się na zewnątrz komory w wyniku, czego ciśnienie w komorze osiąga znaczne wartości, rzędu megapaskali. Ponieważ w wyłącznikach intensywność gaszenia łuku i dejonizacja przerwy międzystykowej zależy od ciśnienia gazów w komorze, a więc od intensywności samego łuku to mogą występować trudności w skutecznym gaszeniu niewielkich prądów stanu jałowego transformatorów, linii napowietrznych i kablowych, co stanowi istotne ograniczenie ich zastosowań. Niektóre obecnie budowane wyłączniki małoolejowe mają komory gaszeniowe przystosowane do gaszenia łuków prądów o bardzo dużych i małych wartościach. Trwałość łączeniowa wyłączników małoolejowych jest stosunkowo niewielka i zależy od wartości prądów wyłączeniowych, po kilku wyłączeniach prądów zwarciovych konieczny jest przegląd. Wyłącznik z SF₆ buduje się obecnie jako jednociśnieniowe z komorami gaszeniowymi samospężnymi oraz samowydmuchowymi. Trwałość łączeniowa tych wyłączników wynosi od 10 do 20 cykli łączeniowych prądu zwarciovego, jest, więc kilkakrotnie większa od wyłączników małoolejowych. Przeglądy konserwacyjne są mało pracochłonne i mogą być wykonywane, co 8÷10 lat a w najnowszych konstrukcjach nawet, co 25 lat, są więc tanie w eksploatacji. Charakteryzują się cichą pracą. Mogą być stosowane w każdych warunkach i w każdym miejscu w sieci. Wyłączniki z SF₆ produkcji ABB pracują w Szwecji przy temperaturze -50 °C a w Meksyku na wysokości ponad 3000 m n.p.m.

Wyłączniki próżniowe buduje się tylko na napięcia średnie i niskie. Trwałość wyłączników próżniowych jest bardzo wysoka. Przegląd konserwacyjny dotyczy głównie napędu i powinien być dokonywany po 10000 działań. Duża trwałość wynika między innymi z małej masy i drogi styku ruchomego. Styki w próżni nie utleniają się, wobec tego mało się zużywają, co zapewnia, że komory gaszeniowe nie wymagają żadnych prac eksploatacyjnych. Trwałość łączeniowa prądu zwarciovego wynosi ponad 100 wyłączeń. Wyłączniki próżniowe mogą pracować w dowolnym położeniu, są odporne na rozerwanie czy pożar, można je stosować w ekstremalnych warunkach środowiskowych. Wyłączniki próżniowe mają naturalną tendencję do ucinania prądu przed jego przejściem przez zero, co w niektórych warunkach sieciowych może wywoływać przebiecia łączeniowe niebezpiecznych wartości.

Dane znamionowe wyłączników są następujące:

- napięcie znamionowe,
- poziom znamionowy izolacji,
- częstotliwość znamionowa,
- prąd znamionowy ciągły,
- prąd znamionowy krótkotrwały wytrzymały,
- czas znamionowy trwania zwarcia (nie dotyczy wyłączniki wyposażone w wyzwalacze nadprądowe bezpośrednie),
- prąd znamionowy szczytowy,
- prąd znamionowy wyłączalny zwarciovym,
- napięcie znamionowe powrotne przejściowe przy zwiarciach na zaciskach,
- prąd znamionowy załączalny zwarciovym,
- szereg przestawieniowy znamionowy,
- napięcie znamionowe zasilania napędów o obwodów pomocniczych,
- częstotliwość znamionowa zasilania napędów o obwodów pomocniczych,
- ciśnienie znamionowe gazu zasilającego napędy oraz gasiwa (gazu stosowanego przy łączeniu), jeżeli gazy te są stosowane,
- w przypadku wyłączników trójbiegunowych przeznaczonych do bezpośredniego połączenia z liniami napowietrznymi o napięciu znamionowym 52 kV lub wyższym oraz

znamionowym prądzie wyłączalnym większym niż 12,5 kA należy również podać dane znamionowe warunków zwarć bliskich,

- w przypadku wyłączników trójbiegunowych przeznaczonych do bezpośredniego połączenia z liniami napowietrznymi o napięciu znamionowym 72,5 kV lub wyższym należy również podać prąd znamionowy wyłączalny linii w stanie jałowym.

Inne dane znamionowe podawane na życzenie:

- prąd znamionowy wyłączalny przy niezgodności faz,
- prąd znamionowy wyłączalny linii kablowych w stanie jałowym,
- prąd znamionowy wyłączalny baterii kondensatorowej pojedynczej,
- prąd znamionowy wyłączalny baterii kondensatorowej wieloczołowej,
- prąd znamionowy załączalny baterii kondensatorowej wieloczołowej,
- prąd znamionowy wyłączalny przy łączeniu małych prądów indukcyjnych,
- czasy znamionowe.

Niektóre z tych danych znamionowych zostały już omówione w rozdziale 4.3.2, poniżej zostaną one pominięte lub jedynie uzupełnione.

4.4.3.2. Prąd znamionowy ciągły wyłącznika I_r

Prąd znamionowy ciągły wyłącznika powinien spełnić wymaganie:

$$I_r \geq I_{obl} \quad (4.118)$$

gdzie:

- I_{obl} - prąd obliczeniowy, czyli przewidywany prąd maksymalnego obciążenia roboczego.

W sytuacji, gdy wyższa temperatura otoczenia lub warunki zainstalowania wyłącznika powodują pogorszenie warunków jego chłodzenia należy zmniejszyć znamionowy prąd ciągły do wartości I_{rs} i wówczas powinna być spełniona zależność:

$$I_{rs} \geq I_{obl} \quad (4.119)$$

Ze względu na wyższą temperaturę otoczenia prąd I_{rs} można obliczyć z wzoru:

$$I_{rs} = I_r \cdot \sqrt{\frac{\vartheta_{dd} - \vartheta_o}{\vartheta_{dd} - \vartheta_{on}}} \quad (4.120)$$

gdzie:

- ϑ_{dd} - dopuszczalna długotrwałe temperatura styków wyłącznika, jako najbardziej wrażliwych elementów konstrukcji wyłącznika,
- ϑ_o - rzeczywista temperatura otoczenia,
- ϑ_{on} - temperatura otoczenia, dla której został określony prąd znamionowy ciągły.

Dla wyłączników zainstalowanych w rozdzielniczy osłoniętej z wentylacją naturalną można przyjąć:

$$I_{rs} = (0,85 - 0,9) \cdot I_r \quad (4.121)$$

4.4.3.3. Prąd znamionowy wyłączalny zwarcioowy

Prąd znamionowy wyłączalny zwarcioowy jest to największy prąd zwarcioowy, który wyłącznik powinien być w stanie wyłączyć przy napięciu znamionowym i określonym normą przebiegu napięcia powrotnego. Prąd znamionowy wyłączalny zwarcioowy charakteryzują dwie wielkości:

- wartość skuteczną jego składowej okresowej I_{nws} ,
- wartość składowej nieokresowej β wyrażoną w % wartości szczytowej składowej okresowej.

Wyłącznik jest w stanie wyłączać każdy prąd zwarcioowy o wartości mniejszej lub równej jego prądowi znamionowemu wyłączalnemu zwarcioowemu, zawierającemu składową okresową mniejszą lub równą wartości znamionowej oraz składową nieokresową mniejszą lub równą wartości przypisanej w normie [54] przy napięciach niższych lub równych znamionowemu. Przy napięciach większych niż znamionowe nie gwarantuje się żadnej wartości prądu wyłączalnego zwarcioowego.

Składowa nieokresowa prądu zwarcioowego zanika stosunkowo szybko i przyjmuje się, że praktycznie zawsze, nawet przy małych wartościach rezystancji obwodu zwartego, składowa nieokresowa zanika po czasie 0,1 s. Zgodnie z normą [104] dla czasu rozdzielenia styków wyłącznika $t_r \leq 0,1$ s składowa nieokresowa występuje i wyłącznik ma wystarczającą zdolność wyłączania prądu zwarcioowego, jeżeli spełniona jest zależność:

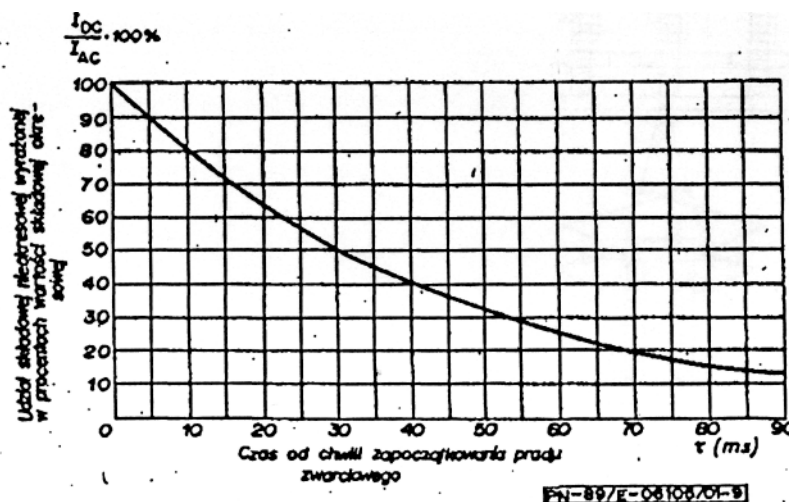
$$I_{nwns} \geq \sqrt{(I_b)^2 + (i_{d.c.})^2} \quad (4.122)$$

gdzie:

- I_{nwns} - prąd znamionowy wyłączalny zwarcioowy niesymetryczny,
- I_b - składowa okresowa prądu zwarcioowego wyznaczona dla czasu rozdzielenia się styków wyłącznika,
- $i_{d.c.}$ - składowa nieokresowa prądu zwarcioowego wyznaczona dla czasu rozdzielenia się styków wyłącznika.

Często prądy wyłączalne są wyrażone przez prąd wyłączalny symetryczny i współczynnik asymetrii wtedy:

$$I_{nwns} = \sqrt{(I_{nws})^2 + 2 \cdot \beta^2} \quad (4.123)$$



Rys. 4.39. Zależność składowej nieokresowej od czasu

Wartość współczynnika asymetrii β nie zawsze jest podawana przez producenta, wówczas można przyjąć, że jest on równy wartości wyznaczonej z rys. 4.39 z normy [54]. Czas τ przyjmuje się równy czasowi własnemu przy otwieraniu powiększonemu o minimalną zwłokę urządzeń zabezpieczających, nie mniejszą niż połowa okresu częstotliwości znamionowej (czasu tego nie powiększa się w przypadku zastosowania wyzwalaczy pierwotnych). Rys. 4.39 wykonano przy założeniu, że wartość składowej okresowej jest stała, a współczynnik mocy obwodu zwarciego wynosi 0,07, co dopowiada stałej czasowej obwodu równej 45 ms. Jeżeli miejsce zainstalowania wyłącznika jest dostatecznie odległe elektrycznie od maszyn wirujących to współczynnik tłumienia składowej okresowej jest pomijalnie mały i należy tylko sprawdzić, czy współczynnik mocy obwodu zwarciego jest nie mniejszy niż 0,07 a minimalna zwłoka urządzeń zabezpieczających nie mniejsza niż połowa okresu. Gwarantuje to, że składowa nieokresowa nie będzie większa od przewidywanej dla wyłącznika, a warunki wyłączania nie będą gorsze niż przewidziano dla wyłącznika. W niektórych sytuacjach warunki wyłączania mogą być ostrzejsze niż przewiduje norma [54] na przykład, jeżeli wyłącznik znajduje się w pobliżu generatora to składowa okresowa może zmniejszać się szybciej niż normalnie, przebieg prądu zwarciego może wtedy przez wiele okresów nie przechodzić przez zero. W takich okolicznościach warunki pracy wyłącznika można ułatwić np. przez opóźnienie jego otwarcia. Trzeba jednak tu pamiętać, że układzie trójfazowym brak przejścia przez zero występuje tylko w części faz. Otwarcie fazy, w której było przejście przez zero (a dokładnie zgaszenie łuku w tej fazie) zmienia zasadniczo cały stan przejściowy. Takie sytuacje należy badać używając odpowiedniego programu symulacyjnego np. EMTP. Jeżeli wartości znormalizowane składowej nieokresowej są niewystarczające, wówczas wymaganą wartość składowej nieokresowej należy podać producentowi, który na podstawie prób określi możliwość zastosowania wyłącznika. Gdy minimalny czas do rozdzielenia się styków wyłącznika jest równy lub większy od 0,1 s to warunek doboru prądu wyłączalnego upraszcza się do postaci:

$$I_{nws} \geq I_b \quad (4.124)$$

4.4.3.4. Napięcie powrotne

Napięcie powrotne jest to napięcie, które występuje zaciskami bieguna wyłącznika po wyłączeniu prądu. Dobór wyłącznika polega na porównaniu obwiedni napięcia powrotnego $u_p(t)$ występującego w miejscu zainstalowania wyłącznika z obwiednią napięcia powrotnego obwodu probierczego $u_{pp}(t)$, przy którym wyznaczono zdolność łączeniową wyłącznika. Wyłącznik jest dobrany poprawnie, jeżeli napięcia te spełniają zależność:

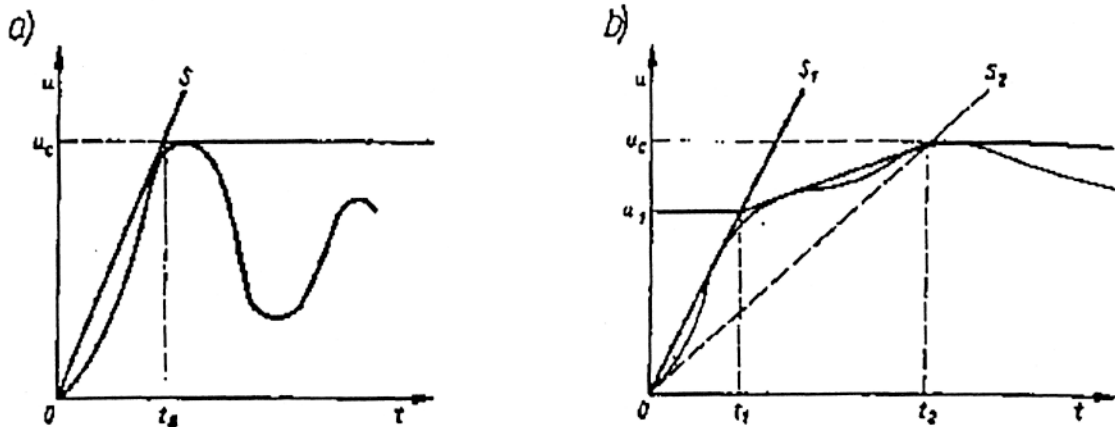
$$u_{pp}(t) \geq u_p(t) \quad (4.125)$$

Zamiast porównywania przebiegów napięć powrotnych można porównać charakterystyczne parametry ich obwiedni:

- stromość S_p ,
- współczynnik szczytu k_{sp} ,
- współczynnik biegunowy k_{bp} .

Na rys. 4.40 zaprezentowano znormalizowane przebiegi napięcia powrotnego:

- z obwiednią dwuparametrową,
- z obwiednią czteroparametrową



Rys. 4.40. Przebieg napięcia powrotnego: a) z obwiednią dwuparametrową, b) z obwiednią czteroparametrową

Zgodnie z rys. 4.40 stromość dla przebiegu dwuparametrowego wyraża się wzorem:

$$S_p = \frac{u_c}{t_3} \quad (4.126)$$

Współczynnik szczytu:

$$k_{sp} = \frac{\sqrt{3} \cdot u_c}{\sqrt{2} \cdot U_r} \quad (4.127)$$

Współczynnik biegunowy uwzględnia wpływ niejednoczesności utraty styczności styków biegunów wyłącznika na przebieg napięcia powrotnego przejściowego. Współczynnik pierwszego wyłączającego bieguna jest to iloraz napięcia o częstotliwości podstawowej między fazą nieuszkodzoną a dwiema fazami pozostałymi w przypadku zwarcia dwufazowego z doziemieniem lub izolowanego w miejscu zainstalowania wyłącznika oraz napięcia fazowego, które wystąpi w tym samym miejscu po usunięciu zwarcia. Największe wartości współczynnika biegunowego są:

- w sieci o napięciu $U_m < 123 \text{ kV}$ $k_{bp} = 1,5$,
- w sieci o napięciu $U_m \geq 123 \text{ kV}$ $k_{bp} = 1,3$.

Na ogół wartości znormalizowanego napięcia powrotnego (TRV od Transient Recovery Voltage) pokrywają występujące w praktyce przypadki. Trudniejsze warunki mogą wystąpić:

- w przypadku zwarcia bezpośrednio za transformatorem bez znaczących dodatkowych pojemności między transformatorem a wyłącznikiem (np. połączenie kablowe między transformatorem a wyłącznikiem lub włączone kondensatory między fazy sieci),
- w przypadku zwarcia na zaciskach wyłącznika w pobliżu generatora.

4.4.3.5. Szereg przestawieniowy

Szereg przestawieniowy (łączeniowy) znamionowy określa następstwo określonych przestawień otwierania, zamykania (otwierania - O, zamykania - C) z określonymi przerwami między nimi. Stosuje się najczęściej trzy warianty znamionowego szeregu przestawieniowego:

- "O - 3 min. - CO - 3 min. - CO" w przypadku wyłączników nieprzeznaczonych do szybkiego SPZ,

- "O - 0,3 s - CO - 3 min. CO" w przypadku wyłączników przeznaczonych do szybkiego SPZ,
- "CO - 15 s - CO" w przypadku wyłączników nieprzeznaczonych do szybkiego SPZ.

Jeżeli prąd zwarciový, który wyłącznik jest w stanie wyłączyć przy samoczynnym ponownym wyłączeniu jest mniejszy niż znamionowy prąd wyłączalny to powinno to być określone przez producenta.

4.4.3.6. Zwarcia pobliskie

Jeżeli wyłącznik, o napięciu znamionowym 52 kV i wyższym oraz prądzie znamionowym wyłączalnym zwarciovym przekraczającym 12,5 kA, jest bezpośrednio przyłączony do linii napowietrznej to napięcie powrotne musi być sprawdzone w warunkach wyłączania zwarcia pobliskiego, w niewielkiej rzędu kilku kilometrów odległości od jego zacisków.

4.4.3.7. Prąd znamionowy wyłączalny przy niezgodności faz

Warunki niezgodności faz są to nienormalne warunki występujące w obwodzie w przypadku utraty synchronizmu między częściami sieci elektroenergetycznej po obydwu stronach wyłącznika, w których w chwili przestawienia wyłącznika kąt fazowy między wektorami reprezentującymi napięcia źródeł po każdej ze stron przekracza wartość normalną i może osiągnąć nawet wartość 180°. Prąd znamionowy wyłączalny przy niezgodności faz jest to największy prąd przy niezgodności faz, który wyłącznik jest w stanie wyłączyć dla określonego napięcia powrotnego.

4.4.3.8. Prąd znamionowy wyłączalny przy łączeniu małych prądów

Przy łączeniu małych prądów pojawiają się następujące pojęcia.

- a) Prąd znamionowy wyłączalny linii napowietrznej w stanie jałowym jest to największy prąd ładowania linii, który wyłącznik jest w stanie wyłączyć przy swoim napięciu znamionowym bez przekroczenia dopuszczalnych przepięć łączeniowych podanych przez producenta. Norma [54] podaje zalecane wartości tych przepięć.
- b) Analogicznie określa się prąd znamionowy wyłączalny linii kablowej w stanie jałowym. Zalecane przez normę wartości prądu znamionowego wyłączalnego linii w stanie jałowym dla wybranych napięć znamionowych wyłącznika są w tabl. 4.25.
- c) Prąd znamionowy wyłączalny baterii kondensatorowej jest to największy prąd pojemnościowy, który wyłącznik jest w stanie wyłączyć przy swoim napięciu znamionowym bez przekroczenia dopuszczalnych przepięć łączeniowych podanych przez producenta. Norma [54] podaje zalecane wartości tych przepięć.
- d) Prąd znamionowy załączalny baterii kondensatorowej wieloczęłonowej jest to amplituda prądu, który wyłącznik jest w stanie załączyć przy swoim napięciu znamionowym oraz przy częstotliwości prądu załączeniowego odpowiedniej do występujących warunków (sposób obliczenia tej częstotliwości podaje norma [54]). W praktyce częstotliwość prądu załączeniowego zawiera się w przedziale (2÷5) kHz.

Tabl. 4.25. Zalecane przez normę [54] prądy znamionowe wyłączalne linii napowietrznych i kablowych w stanie jałowym

Napięcie znamionowe U_{mn} w [kV]	Prąd znamionowy wyłączalny linii w stanie jałowym w [A]	
	napowietrznej*	kablowej
7,2	-	10
17,5	-	31,5
24	-	31,5
36	-	50
123	31,5	140
245	125	250
420	400	400

* Dla linii napowietrznych prądy podaje się dla napięć powyżej 72,5 kV.

4.4.3.9. Czasy znamionowe

Dla wyłączników zdefiniowano szereg czasów, których część zostanie poniżej określona:

- Czas własny przy otwieraniu wyłącznika określa się w zależności od sposobu jego wyzwalania, przy minimalnym nastawieniu dowolnego urządzenia zwłocznego stanowiącego część składową wyłącznika:
 - ◆ W przypadku wyłącznika wyzwalanego energią pomocniczą dowolnej postaci, czas własny przy otwieraniu jest to przedział czasu między chwilą zasilania wyzwalacza otwierającego, przy wyłączniku w stanie zamkniętym, a chwilą, w której styki zestyków opalnych utraciły styczność we wszystkich biegunach.
 - ◆ W przypadku wyłącznika wyzwalanego prądem obwodu głównego bez jakiegokolwiek energii pomocniczej dowolnej postaci, czas własny przy otwieraniu jest to przedział czasu między chwilą, w której prąd w obwodzie głównym wyłącznika w stanie zamkniętym osiąga wartość zadziałania wyzwalacza nadprądowego, a chwilą, w której styki zestyków opalnych utraciły styczność we wszystkich biegunach.
- Czas łukowy (przy wyłączaniu) jest to przedział czasu między chwilą pierwszego pojawienia się łuku a chwilą ostatecznego jego zgaśnięcia we wszystkich biegunach.
- Czas wyłączania jest to przedział czasu między początkiem czasu własnego wyłączania przy otwieraniu a końcem czasu łukowego.
- Czas zamykania jest to przedział czasu między zasileniem obwodu elementu powodującego zamykanie wyłącznika otwartego a chwilą, gdy zetkną się styki zestyków we wszystkich biegunach.
- Czas załączania jest to przedział czasu między zasileniem obwodu elementu powodującego zamykanie wyłącznika otwartego a chwilą, gdy w pierwszym biegunie pojawia się prąd.

Czasy znamionowe związane są z działaniem wyłącznika przy znamionowych napięciach i częstotliwościach oraz przy ciśnieniu zasilania napędów oraz przy temperaturze równej 20 ± 5 °C.

4.4.4. Dobór rozłącznika

Rozłącznik jest łącznikiem mającym zdolność załączania, przewodzenia i wyłączania prądów roboczych i niewielkich przeciążeniowych oraz mający zdolność przewodzenia przez określony czas prądów zwarciovych. Rozłączniki budowane są na napięcia średnie i niskie (do 30 kV) i prądy do ok. 1250 A. Występują następujące rodzaje rozłączników:

- rozłącznik,
- rozłącznik izolacyjny, to rozłącznik, który w stanie otwarcia spełnia warunki stanu izolowania określone dla odłącznika,

- rozłącznik z bezpiecznikami, to połączony szeregowo rozłącznik z bezpiecznikami tworzący jedną całość,
- rozłącznik izolacyjny z bezpiecznikami,
- rozłącznik bezpiecznikowy, to rozłącznik, w którym wkładka bezpiecznikowa tworzą styk ruchomy, czyli wybijak wkładki bezpiecznikowej powoduje otwarcie rozłącznika,
- rozłącznik izolacyjny bezpiecznikowy.

Wymagania ogólne dotyczące rozłączników zawiera norma [92]. Rozłącznik jest rozłącznikiem ogólnego zastosowania, jeżeli spełnia następujące własności eksploatacyjne:

- przewodzi trwale prąd ciągły,
- łączy obciążenie o małej indukcyjności,
- łączy obwody sieci pierścieniowej,
- łączy nieobciążone transformatory,
- łączy prąd ładowania nieobciążonych kabli i linii napowietrznych,
- przewodzi przez określony czas prąd zwarciovowy,
- załącza prądy zwarciovowe.

Rozłącznik ogólnego zastosowania przeznaczony jest do pracy w sieciach:

- z izolowanym punktem neutralnym,
- z kompensacją prądu zwarcia doziemnego,

z uziemionym punktem neutralnym przez dużą rezystancję, powinien mieć zdolność łączenia w warunkach zwarcia doziemnego.

Jeżeli rozłącznik ma przypisany:

- prąd znamionowy ciągły,
- prąd znamionowy krótkotrwały wytrzymywany,

i jedną lub więcej, ale nie wszystkie zdolności łączeniowe to jest rozłącznikiem ograniczonego zastosowania. Rozłącznik, który w stanie otwarcia spełnia wymagania izolacyjne określone dla odłączników jest rozłącznikiem izolacyjnym. Poza rozłącznikami ogólnego zastosowania buduje się wyspecjalizowane rozłączniki np.:

- rozłączniki do łączenia silników,
- rozłączniki do łączenia pojedynczej baterii kondensatorów.

Dobór rozłącznika ogólnego zastosowania polega na określeniu jego typu w zależności od warunków pracy i przeznaczenia oraz doborze jego podstawowych danych znamionowych:

- napięcia znamionowego (U_r),
- poziomu znamionowego izolacji,
- częstotliwości znamionowej (f_r),
- prądu znamionowego ciągłego (I_r),
- prądu znamionowego krótkotrwałego wytrzymywanego (I_k),
- prądu znamionowego szczytowego wytrzymywanego (I_p),
- czasu znamionowego trwania zwarcia (t_k),
- napięcia znamionowego zasilania napędów i obwodów pomocniczych (U_a),
- częstotliwości znamionowej zasilania napędów i obwodów pomocniczych,
- prądów znamionowych wyłączalnych,
- prądu znamionowego załączalnego zwarciovowego.

Uwagi odnośnie pewnych problemów związanych z doбором rozłącznika:

- 1) Dla rozłączników z nożami uziemiającymi, prąd znamionowy krótkotrwały wytrzymywany uziemnika powinien być, co najmniej równy prądowi znamionowemu krótkotrwałemu wytrzymywanemu styków głównych rozłącznika.
- 2) Prąd znamionowy wyłączeniowy w obwodzie o małej indukcyjności (I_1) jest to największa wartość prądu w obwodzie o małej indukcyjności, którą rozłącznik powinien wyłączać przy

- napięciu znamionowym. Określony on jest przy założeniu, że współczynnik mocy obwodu zasilania jest nie większy niż 0,2, współczynnik mocy obciążenia jest nie mniejszy niż 0,7.
- 3) Prąd znamionowy wyłączeniowy w obwodzie sieci pierścieniowej (I_{2a} oraz I_{2b}) jest to największa wartość prądu przy otwieraniu pierścieniowej sieci rozdzielczej lub transformatora przyłączonego równolegle do jednego lub kilku transformatorów, tzn. obwodu, w którym obie strony rozłącznika po wyłączeniu pozostają pod napięciem i w którym napięcie pojawiające się między zaciskami rozłącznika jest znacznie mniejsze od napięcia znamionowego sieci.
 - 4) Prąd znamionowy wyłączeniowy nieobciążonego transformatora (I_3) jest to największa wartość prądu nieobciążonego transformatora, którą rozłącznik powinien wyłączać przy napięciu znamionowym.
 - 5) Prąd znamionowy wyłączeniowy ładowania kabli (I_{4a}) jest to największa wartość prądu ładowania kabli, którą rozłącznik powinien wyłączać przy napięciu znamionowym.
 - 6) Prąd znamionowy wyłączeniowy ładowania linii napowietrznej (I_{4b}) jest to największa wartość prądu ładowania linii napowietrznej, którą rozłącznik powinien wyłączać przy napięciu znamionowym.
 - 7) Prąd znamionowy wyłączeniowy zwarcia doziemnego (I_{6a}) dla sieci z punktem neutralnym izolowanym lub kompensowanej jest to największa wartość prądu zwarcia doziemnego w uszkodzonej fazie, którą rozłącznik powinien wyłączać przy napięciu znamionowym.
 - 8) Prąd znamionowy wyłączeniowy ładowania kabli i linii napowietrznej w warunkach zwarcia doziemnego (I_{6b}) dla sieci z punktem neutralnym izolowanym lub kompensowanej jest to największa wartość prądu fazach zdrowych, którą rozłącznik powinien wyłączać przy napięciu znamionowym.
 - 9) Prądy wyłączalne są określane dla określonych przebiegów napięć powrotnych. Napięcie powrotne podstawowe jest równe napięciu znamionowemu z wyjątkiem prądu dla sieci pierścieniowej, dla którego napięcie to jest równe 20% napięcia znamionowego. Spodziewane napięcia powrotne przejściowe obwodu zasilającego w warunkach zwarciovych są określone w normie [92].
 - 10) Rozłączniki buduje się tak, aby prąd znamionowy wyłączalny w obwodzie sieci pierścieniowej oraz prąd znamionowy wyłączalny w obwodzie o małej indukcyjności był równy prądowi znamionowemu ciągłemu. Oczywiście rozłącznik jest dobrany prawidłowo, jeżeli prądy przez niego wyłączane nie przekraczają jego prądów znamionowych wyłączalnych.
 - 11) Prąd znamionowy załączeniowy zwarciovych (I_{ma}) jest to największy spodziewany prąd szczytowy, który rozłącznik powinien załączyć przy napięciu znamionowym. Jeżeli uziemnik stanowiący integralną część rozłącznika ma przypisany prąd znamionowy załączeniowy zwarciovych, to prąd ten powinien być równy prądowi znamionowemu szczytowemu wytrzymawanemu rozłącznika. Warunek doboru jest taki jak dla wyłącznika, musi być spełniona zależność (4.23).
 - 12) Jeżeli rozłącznik jest wyposażony w bezpieczniki, to w zakresie prądów większych niż robocze a mniejszych niż zwarciovych wyłączanie prądów przez bezpieczniki następuje ze zwłoką, przy czym ze względu na rozrzut charakterystyk czasowo-prądowych bezpieczników przerwanie prądu we wszystkich trzech wkładkach jest z reguły niejednoczesne. Ponieważ zadziałanie jednej wkładki powoduje otwarcie rozłącznika prąd w pozostałych fazach jest przerywany przez styki rozłącznika. Przyjmuje się, że bezpiecznik współpracuje poprawnie z rozłącznikiem, jeżeli spełniona jest zależność:

$$I_1 \geq I_{rb} \quad (4.128)$$

gdzie:

- I_1 - prąd znamionowy wyłączalny rozłącznika,

- I_{tb} - prąd znamionowy wkładki bezpiecznikowej dane znamionowe rozłączników.

13) Inne bezpiecznikowych mogą być również wybierane z uwzględnieniem skutków ograniczenia czasu trwania zwarcia i wartości prądów zwarciovych współpracującego bezpiecznika.

4.4.5. Dobór odłącznika lub uziemnika

Odłącznik jest łącznikiem mechanizmowym, który zapewnia w stanie otwarcia bezpieczną przerwę izolacyjną. Bezpieczna przerwa izolacyjna jest zapewniona nie tylko przez wymaganie większej wytrzymałości przerwy biegunowej w stosunku do wytrzymałości doziemnej i międzybiegunowej, lecz również przez skuteczne chronienie izolacji przed zabrudzeniem w trakcie eksploatacji. Odłącznik powinien zapewniać identyfikowanie stanu otwarcia przez dotrzymywanie jednego z następujących warunków:

- bezpieczna przerwa biegunowa jest widoczna,
- położenie każdego styku ruchomego zapewniającego bezpieczną przerwę jest wskazywane przez niezawodny wskaźnik stanu.

Odłącznik jest zdolny do przewodzenia prądu w normalnych warunkach pracy obwodu a także przewodzenia prądu zwarciovego w ciągu określonego czasu. Zamykanie i otwieranie odłączników powinno być przeprowadzane w stanie bezprądowym. Odłączniki mają jednak zdolność łączenia bardzo małych prądów i łączenia prądów, gdy różnica napięć między stykami każdego bieguna jest pomijalna. Dla napięć znamionowych nie wyższych niż 420 kV za bardzo małe prądy uważa się prądy nieprzekraczające 0,5 A. Wykorzystanie tej zdolności może uprościć eksploatację sieci. Krajowe przepisy PBUE [122] dopuszczają:

- Przenoszenie obciążenia z jednego systemu na drugi przy istnieniu równoległego połączenia dla prądu (zamknięte sprzęgło poprzeczne),
- Załączanie i wyłączanie prądów ładowania linii:
 - ◆ kablowych o napięciu znamionowym nie większym niż 6 kV i długościach do 5 km,
 - ◆ napowietrznych o napięciu znamionowym nie większym niż 40 kV.
- Załączanie i wyłączanie przekładników napięciowych.
- Załączanie i wyłączanie przewodów uziemiających punkty neutralne transformatorów, jeżeli prąd doziemny nie przekracza 5 A,
- Załączanie i wyłączanie prądów biegu jałowego transformatorów o mocach nieprzekraczających mocy podanych w tabl. 4.26.
- Załączanie i wyłączanie prądów obciążeniowych transformatorów o mocach nieprzekraczających mocy podanych w tabl. 4.27.

Tabl. 4.26. Maksymalne moce znamionowe transformatorów załączanych i wyłączanych za pomocą odłącznika w stanie jałowym

Dla napięcia roboczego[kV]	6	15	30	110 ¹⁾	110 ^{1), 2)}	110
Największa moc znamionowa transformatora [kVA]	200	400	1000	16000	25000	31500
¹⁾ Odstęp między osiami biegunów odłącznika, co najmniej 190 cm.						
²⁾ Napięcie zasilania nie przekracza 123 kV.						

Tabl. 4.27. Maksymalne moce znamionowe transformatorów załączanych i wyłączanych za pomocą odłącznika w stanie obciążenia

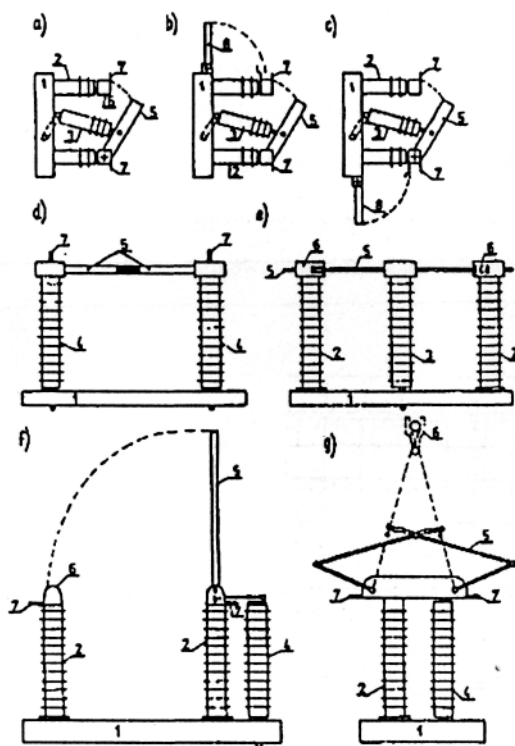
Dla napięcia roboczego[kV]	6	15	30
Największa moc znamionowa transformatora [kVA]	25	30	30

Uziemnik jest to łącznik mechanizmowy stosowany do uziemiania części obwodu prądowego, zdolny do wytrzymywania przez określony czas prądów w warunkach nienormalnych np. zwarciovych, ale nieprzeznaczony do przewodzenia prądu w normalnych warunkach pracy obwodu. Uziemniki na napięcia znamionowe średnie dzielą się na dwie klasy: A i B. Uziemnik niewymagający zbiegów konserwacyjnych styków głównych przez spodziewany czas eksploatacji, a tylko nieznacznych pozostałych części uziemnika, to uziemnik klasy B. Uziemniki nienależące do klasy B są uziemnikami klasy A.

Podstawowe odmiany konstrukcyjne odłączników przedstawione są na rys. 4.41.

Stosowane są następujące typy napędów dla odłączników:

- ręczne (drażkowe lub dźwignicowe),
- sprężynowe,
- pneumatyczne,
- silnikowe.



Rys. 4.41. Schematy konstrukcyjne podstawowych typów odłączników:

- a) odłącznik SN o siecznym ruchu styków;
 - b) jak a) z nożem uziemiającym górnym;
 - c) jak a) z nożem uziemiającym dolnym;
 - d) ...g) odłączniki wysokich napięć, przy czym:
 - ◆ d) dwukolumnowy jednoprzerwowy o poziomym ruchu styku;
 - ◆ e) trójkolumnowy dwuprzerwowy o poziomym ruchu styku;
 - ◆ f) pionowy trójkolumnowy o siecznym ruchu styku;
 - ◆ g) pionowy dwukolumnowy pantografowy;
- 1 - podstawa, 2 - izolator wsporczy, 3 - izolator napadowy, 4 - izolator wsporczy i napadowy, 5 - styk ruchomy, 6 - styk stały, 7 - zacisk przyłączowy, 8 - nóż uziemiający.

Odłączniki dla sieci 110 kV przeznaczone do pracy w układach bezwyłącznikowych są wyposażone w napędy sprężynowe zasobnikowe z ręcznym naciąganiem sprężyn w celu umożliwienia zdalnego otwierania odłącznika. Napędy odłączników powinny być wyposażone w rygle mechaniczne lub elektromechaniczne umożliwiające wykonanie blokad zapobiegających przeprowadzeniu błędnych manipulacji łączeniowych.

Doboru odłączników i uziemników dokonuje się przez porównanie jego danych znamionowych z warunkami obciążeniowymi i zwarciovymi, przy czym rozpoczynamy ten dobór ogólnym doбором typu i rodzaju odłącznika (uziemnika) związanymi z warunkami klimatycznymi i atmosferycznymi oraz charakterystycznymi cechami obciążenia i zakłóceń. Przy doborze odłączników i uziemników należy sprawdzić następujące dane znamionowe [92]:

- napięcia znamionowego (U_r),
- poziomu znamionowego izolacji,
- częstotliwości znamionowej (f_r),
- prądu znamionowego ciągłego (I_r) - nie dotyczy uziemników,
- prądu znamionowego krótkotrwałego wytrzymywanego (I_k),
- prądu znamionowego szczytowego wytrzymywanego (I_p),
- napięcia znamionowego zasilania napędów i obwodów pomocniczych (U_a),
- częstotliwości znamionowej zasilania napędów i obwodów pomocniczych,
- obszar styczności znamionowy,
- prądu znamionowego załączalnego zwarciovego (tylko dla uziemników).

Uwagi odnośnie pewnych problemów związanych z doбором odłącznika i uziemnika:

- 1) Prąd znamionowy krótkotrwały wytrzymywany uziemnika zespolonego z odłącznikiem powinien być nie mniejszy niż odłącznika.
- 2) Prąd znamionowy szczytowy wytrzymywany uziemnika zespolonego z odłącznikiem powinien być nie mniejszy niż odłącznika.
- 3) Znamionowe obciążenie mechaniczne zacisków określa się dla połączenia sztywnego wg rozdziału 4.3.2. Dla połączeń elastycznych zacisków podaj się znamionowe obciążenie wzdłużne i poprzeczne zacisków, przy których odłączniki i uziemniki powinny być zdolne zamykać się i otwierać.
- 4) Napięcia znamionowe, prądy znamionowe ciągłe, prądy znamionowe krótkotrwałe wytrzymywane i prądy znamionowe szczytowe są ze sobą skoordynowane. Zalecane kombinacje tych wielkości podaje tabl. 4.28 pobrana z normy [92].
- 5) Prąd znamionowy załączalny zwarciovym określa się dla uziemników, które mają przypisaną zdolność załączania prądów zwarciovych i powinien on być równy prądowi znamionowemu szczytowemu wytrzymywanemu.
- 6) Obszar styczności znamionowy dotyczy warunków zamocowania styku nieruchomego odłączników z pionową przerwą izolacyjną np. pantografowych.

Tabl. 4.28. Zalecana koordynacja danych znamionowych odłączników

Napięcie znamionowe [kV]	Prąd znamionowy krótkotrwały wytrzymywany (wartość skuteczna) [kA]	Prąd znamionowy szczytowy wytrzymywany [kA]	Prąd znamionowy ciągły (wartość skuteczna) [A]							
			400	-	-	-	-	-	-	-
7,2	10	25	-	-	-	-	-	-	-	-
	16	40	-	63	-	1250	-	-	-	-
	25	63	-	0	-	1250	1600	-	2500	-

	40	100	-	-	-	1250	1600	-	2500	4000
17,5	8	20	400	63	-	1250	-	-	-	-
	12,5	32	400	0	-	1250	-	-	-	-
	16	40	-	63	-	1250	-	-	-	-
	25	63	-	0	-	1250	-	-	-	-
	40	100	-	63	-	1250	1600	-	2500	-
				0						
				-						
24	8	20	400	63	-	1250	-	-	-	-
	12,5	32	-	0	-	1250	-	-	-	-
	16	40	-	63	-	1250	-	-	-	-
	25	63	-	0	-	1250	1600	-	2500	-
	40	100	-	63	-	-	1600	-	2500	4000
				0						
				-						
36	8	20	-	63	-	-	-	-	-	-
	12,5	32	-	0	-	1250	-	-	-	-
	16	40	-	63	-	1250	1600	-	-	-
	25	63	-	0	-	1250	1600	-	2500	-
	40	100	-	63	-	-	1600	-	2500	4000
				0						
				-						
125	12,5	32	-	-	80	1250	-	-	-	-
	20	50	-	-	0	1250	1600	2000	-	-
	25	63	-	-	-	1250	1600	2000	-	-
	40	100	-	-	-	-	1600	2000	-	-
245	20	50	-	-	-	1250	1600	2000	-	-
	31,5	80	-	-	-	1250	1600	2000	-	-
	40	100	-	-	-	-	1600	2000	3150	-
	50	125	-	-	-	-	-	2000	3150	-
420	20	50	-	-		-	1600	2000	-	-
	31,5	80	-	-		-	1600	2000	-	-
	40	100	-	-		-	1600	2000	3150	-
	50	125	-	-		-	-	2000	3150	4000

4.5. DOBÓR BEZPIECZNIKÓW WYSOKIEGO NAPIĘCIA

4.5.1. Podstawowe typy bezpieczników

Bezpieczniki wysokonapięciowe (na napięcia średnie) stosowane są wyłącznie jako zabezpieczenia od zwarć. Są stosowane powszechnie do zabezpieczenia od skutków zwarć transformatorów, silników, kondensatorów, przekładników napięciowych. Rodzaj wykonania wynika z miejsca zainstalowania bezpiecznika i panujących tam warunków atmosferycznych i klimatycznych. Rozróżnia się bezpieczniki:

- wewnętrzne,
- napowietrzne.

W zależności od zasady działania i konstrukcji można wyróżnić następujące typy bezpieczników:

- Bezpieczniki ograniczające prąd to bezpieczniki z materiałem gaszącym w postaci piasku kwarcowego budowane jako wielkiej mocy do zabezpieczenia transformatorów, silników,

kondensatorów [97]. W bezpiecznikach tych odpowiednio duży prąd powoduje topienie się elementu topikowego a następnie palenie się łuku wewnątrz wkładki w wyniku, czego szybko zwiększa się rezystancja wkładki ograniczając prąd. Czas całego tego procesu zależy od wartości prądu, dla prądów zwarciovych są to mikrosekundy. Bezpieczniki ograniczające prąd mają budowę zamkniętą.

- Bezpieczniki gazowydmuchowe stosowane w napowietrznych stacjach transformatorowo-rozdzielczych (słupowych) zasilających wiejskie sieci niskiego napięcia [109]. W tego typu bezpiecznikach w rurze izolacyjnej będącej zewnętrzną obudową bezpiecznika znajduje się tuleja z materiału wydzielającego duże ilości gazu pod wpływem wysokiej temperatury (fibra, kwas borny, szkło organiczne), która to temperatura powstaje pod wpływem łuku palącego się wewnątrz bezpiecznika. Wydzielające się gazy, sprężone do odpowiednio wysokiego ciśnienia, wyrzucają korek znajdujący się z jednej strony bezpiecznika (druga strona jest trwale zamknięta). Wtedy gazy te są wydmuchiwane na zewnątrz powodując zgaszenie palącego się łuku. W związku z tym bezpieczniki gazowydmuchowe powinny być tak instalowane, aby wyrzucane zjonizowane gazy nie były wydmuchiwane w kierunku urządzeń elektrycznych będących pod napięciem.
- Bezpieczniki przekładnikowe to bezpieczniki do zabezpieczania od zwarć w polu przekładników napięciowych a są zbudowane identycznie jak bezpieczniki ograniczające prąd posiadają jedynie bardzo małe prądy znamionowe i w związku z tym duże rezystancje wkładki.

Oczywiście nie są to wszystkie typy bezpieczników, jakie występują na świecie. Jednakże pozostałe typy są nie powszechnie stosowane w Polsce.

Dobór bezpiecznika polega na doborze wkładki bezpiecznikowej i podstawy bezpiecznikowej. Przy doborze wkładki bezpiecznikowej należy określić następujące dane znamionowe:

- napięcie znamionowe (U_r),
- znamionowy poziom izolacji,
- częstotliwość znamionowa (f_r),
- prąd znamionowy ciągły (I_{rb}),
- prąd wyłączalny znamionowy,
- charakterystyka czasowo-prądowa,
- charakterystyka prądów ograniczonych dla bezpieczników ograniczających,
- całka Joule'a,
- współczynnik K (dla wkładek silnikowych).

4.5.2. Bezpieczniki ograniczające prąd

Bezpieczniki ograniczające prąd budowane są zarówno w wykonaniach wewnętrznych jak i napowietrznych. Ich budowa i działanie jest bardzo zbliżone do działania bezpieczników niskonapięciowych. Bezpieczniki ograniczające prąd przeznaczone są zgodnie z [97] do stosowania w następujących warunkach:

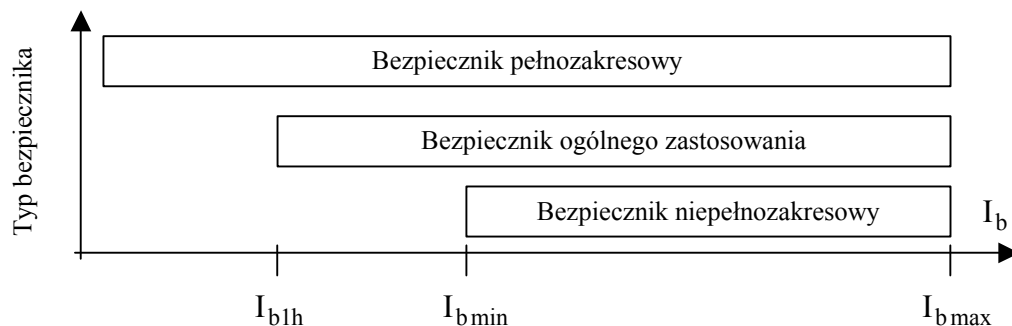
- Maksymalna temperatura otoczenia wynosi 40°C a temperatura średnia w okresie 24 h nie przekracza 35°C .
- Minimalna temperatura otoczenia wynosi -25°C .
- Wysokość nie przekracza 1000 m nad poziomem morza.
- W instalacjach napowietrznych natężenie napromieniowania słonecznego nie przekracza $1,1 \text{ kW/m}^2$.
- W instalacjach napowietrznych ciśnienie wiatru nie przekracza 700 Pa, co odpowiada wiatrowi o prędkości 34 m/s.

- W instalacjach napowietrznych bierze się pod uwagę obecność deszczu i nagłych zmian temperatury.
- Wibracje występujące na zewnątrz bezpiecznika pomija się.
- W instalacjach wewnątrzowych warunki środowiskowe powinny być następujące:
 - ◆ średnia względna wilgotność mierzona w okresie 24 h nie powinna przekraczać 95%,
 - ◆ średnia względna wilgotność mierzona w okresie jednego miesiąca nie powinna przekraczać 90%,
 - ◆ średnie względne ciśnienie pary mierzona w okresie 24 h nie powinna przekraczać 22 mbar,
 - ◆ średnie względne ciśnienie pary mierzona w okresie jednego miesiąca nie powinna przekraczać 18 mbar.

Zgodnie z [97] bezpieczniki ograniczające prąd budowane są w trzech kategoriach:

- Bezpieczniki niepełnozakresowe (w normie [97] nazwane back-up fuse). Bezpieczniki te mają zdolność wyłączenia prądów począwszy od pewnej krotności prądu znamionowego zwanej minimalnym prądem wyłączalnym (oznaczany w niektórych katalogach jako I_3 lub tak jak na rys. 4.42 jako $I_{b\min}$) do znamionowego prądu wyłączalnego (oznaczonego na rys. 4.42 jako $I_{b\max}$). Prądy pomiędzy prądem znamionowym wkładki a minimalnym prądem wyłączalnym nie mogą być bezpiecznie wyłączone, ich wyłączenie może spowodować uszkodzenie wkładki bezpiecznikowej. Są to bezpieczniki odpowiadające tym oznaczanym w niskim napięciu symbolem "a" zwane bezpiecznikami dobezpieczeniowymi lub wg starej normy [59] zwane bezpiecznikami współpracującymi. Bezpieczniki niepełnozakresowe stosuje się w trzech sytuacjach jako:
 - ◆ zabezpieczenie silników asynchronicznych,
 - ◆ zabezpieczenie w rozłączniku bezpiecznikowym,
 - ◆ zabezpieczenie w połączeniu szeregowym z zabezpieczeniem o prądzie działania mniejszym niż minimalny prąd wyłączalny.
- Bezpieczniki ogólnego zastosowania (general-purpose fuse) uważa się za bezpieczniki pełnozakresowe, czyli o zdolności wyłączenia prądów począwszy od prądów znamionowych do znamionowego prądu wyłączalnego, przy czym mają one długie czasy wyłączenia małych prądów rzędu 1 h lub więcej. Są to bezpieczniki odpowiadające tym oznaczanym w niskim napięciu symbolem "g".
- Bezpieczniki pełnozakresowe (full-range fuse) są to bezpieczniki o zdolności wyłączenia prądów począwszy od prądów znamionowych do znamionowego prądu wyłączalnego.

Zakresy pracy poszczególnych typów bezpieczników ograniczających prąd pokazano na rys. 4.42.

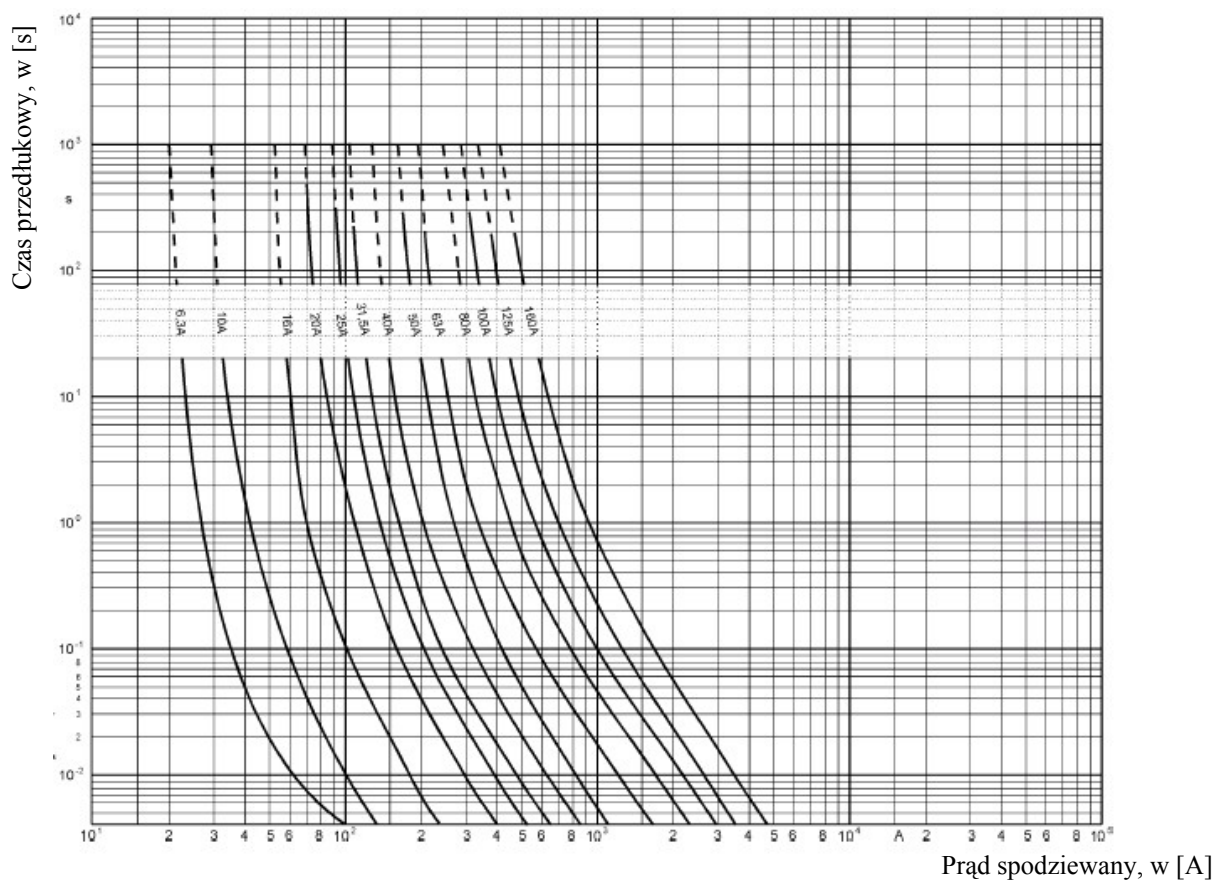


Rys. 4.42. Zakresy pracy poszczególnych typów bezpieczników ograniczających prąd, gdzie:

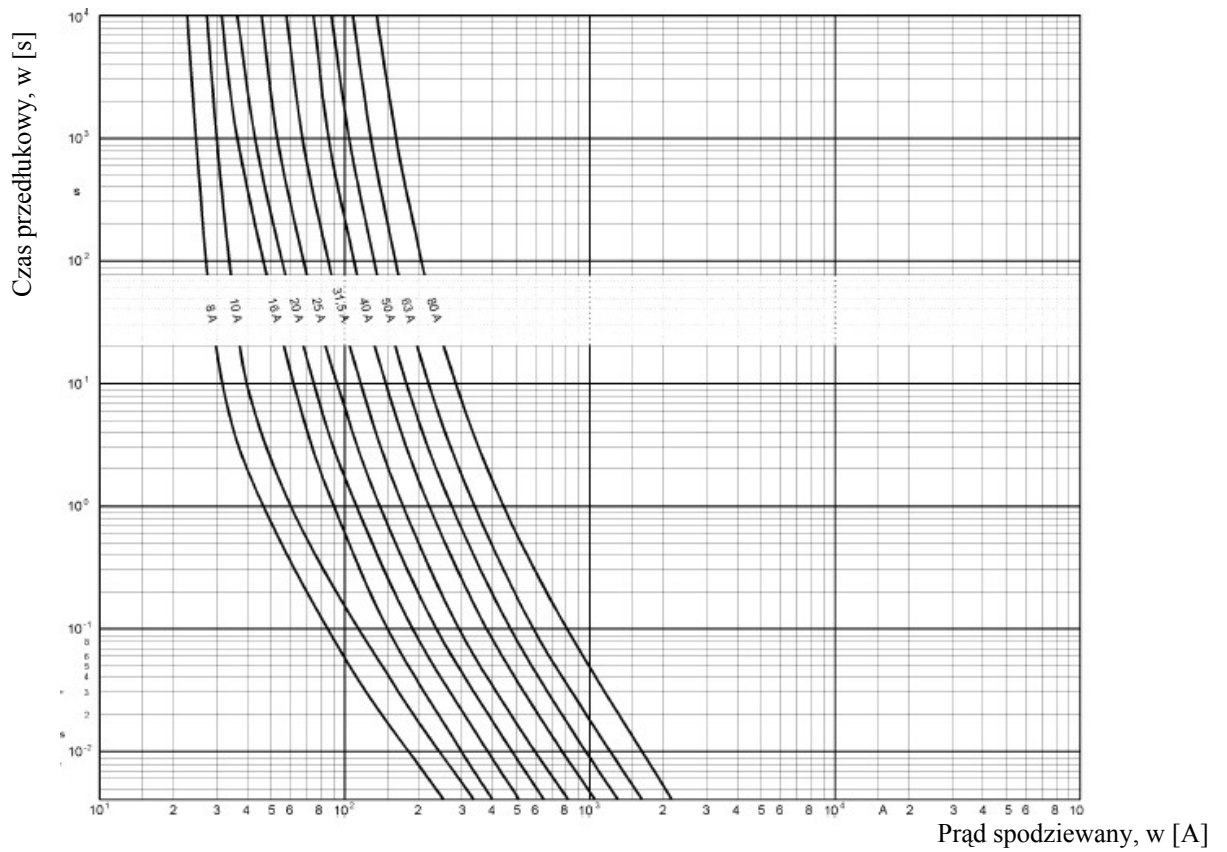
- I_{b1h} - prąd powodujący topienie się elementu topikowego po czasie 1 godziny.

Znamionowy poziom izolacji bezpieczników ograniczających prąd jest napięciem (przebiegiem i udarowym) charakteryzującym izolację bezpiecznika. Zdefiniowano dwa poziomy izolacji nazwane "Lista 1" i "Lista 2". Wymagane parametry dla poziomu izolacji podano w normie.

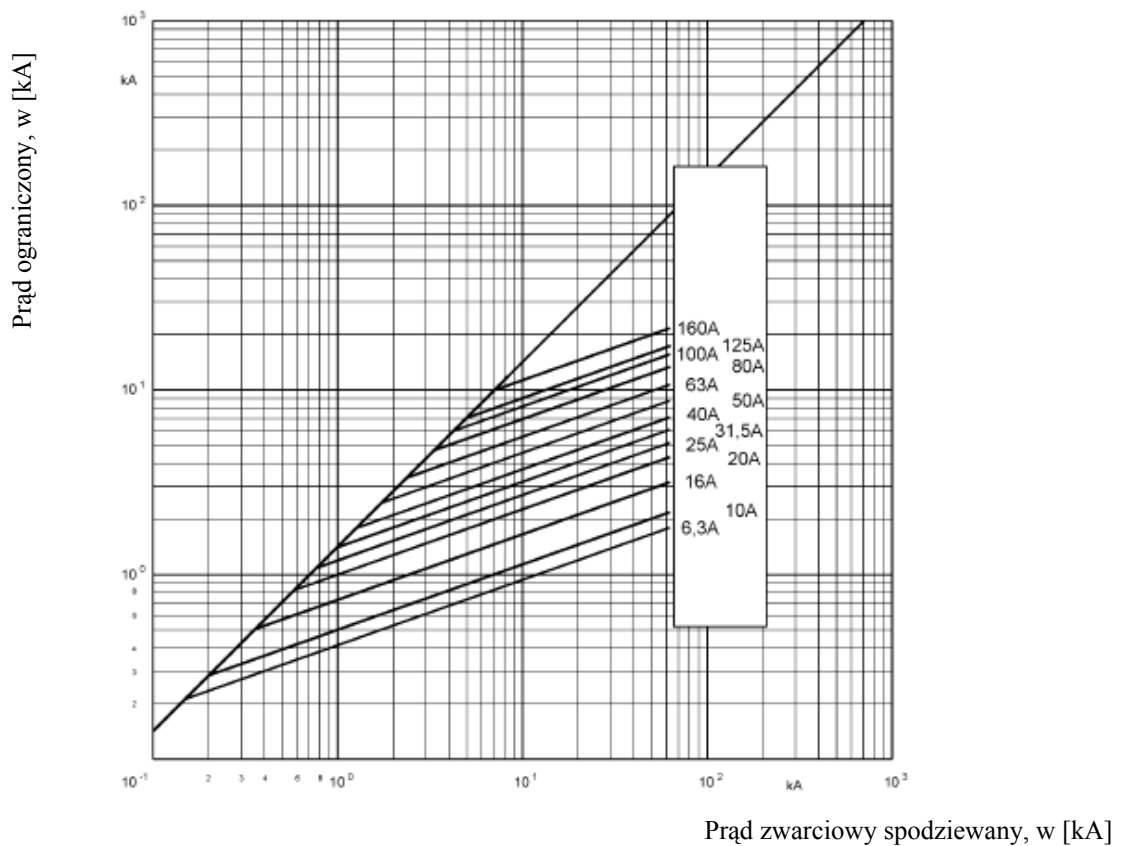
Charakterystyki czasowo-prądowe i charakterystyka prądów ograniczonych wkładek bezpiecznikowych firmy SIBA niepełnozakresowych i pełnozakresowych pokazano na rys. 4.43, rys. 4.44, rys. 4.45 oraz rys. 4.46. Parametry znamionowe i całki Joule'a tych wkładek na wybrane napięcie znamionowe i na wybrane prądy znamionowe zostały podane w tabl.4.29 i tabl. 4.30. Charakterystyka I^2t została podana jako jedna liczba albowiem jest ona bardzo płaska dla różnych prądów, wartość I^2t maleje, lecz bardzo nieznacznie. W celu zachowania selektywności dwóch sąsiednich bezpieczników całka Joule'a w czasie przedłukowym następnego bezpiecznika w kierunku zasilania musi być większa od całki Joule'a w czasie wyłączenia dla maksymalnego napięcia rozważanego bezpiecznika.



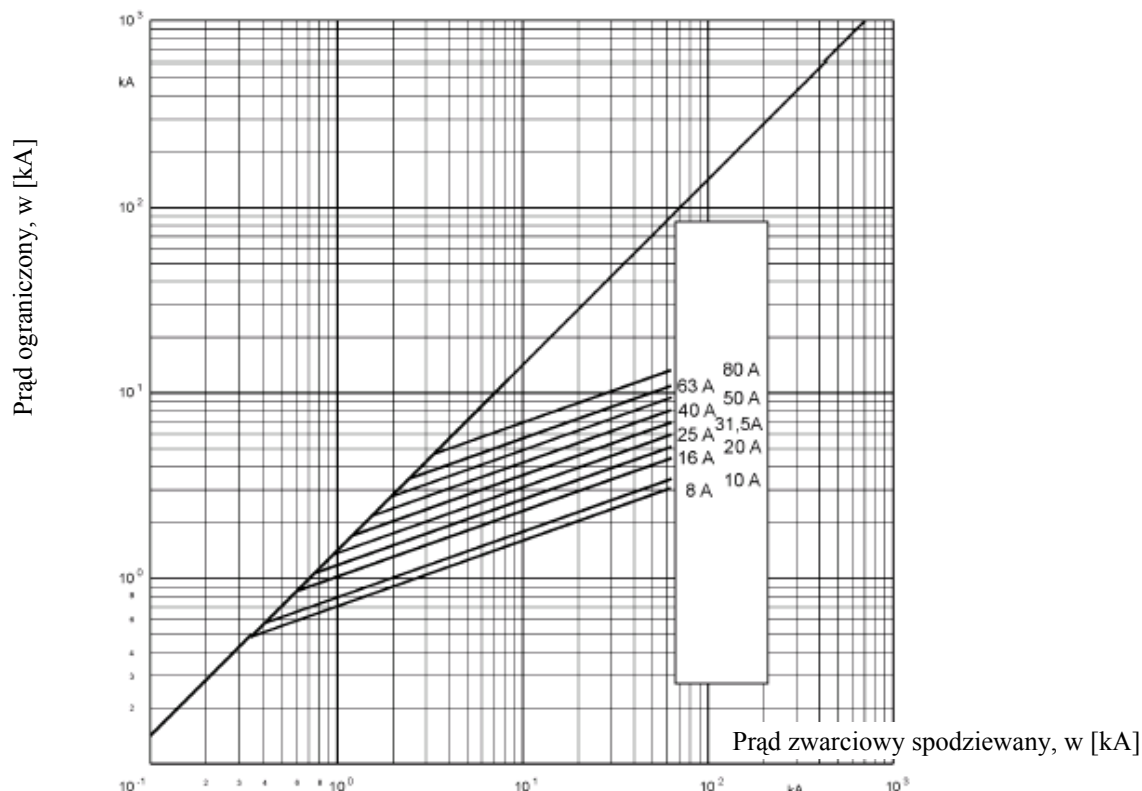
Rys. 4.43. Charakterystyki czasowo-prądowe bezpieczników niepełnozakresowych firmy SIBA



Rys. 4.44. Charakterystyki czasowo-prądowe bezpieczników pełnozakresowych firmy SIBA



Rys. 4.45. Charakterystyki prądów ograniczonych bezpieczników niepełnozakresowych firmy SIBA



Rys. 4.46. Charakterystyki prądów ograniczonych bezpieczników pełnozakresowych firmy SIBA

Tabl. 4.29. Parametry znamionowe wybranych wkładek bezpiecznikowych niepełnozakresowych firmy SIBA na napięcie znamionowe 10-17,5 kV

Prąd znamionowy, w [A]	Znamionowy prąd wyłączalny, w [kA]	Minimalny prąd wyłączalny, w [A]	Rezystancja na zimno, w [mΩ]	Całka Joule'a w czasie przedłukowym, w [A ² s]	Całka Joule'a w czasie wyłączenia dla minimalnego napięcia, w [A ² s]	Całka Joule'a w czasie wyłączenia dla maksymalnego napięcia, w [A ² s]
6,3	63	22	397	45	210	360
31,5		110	35	1700	6600	12000
63		210	16	10700	40000	66000
100		320	8,7	33000	130000	210000
160		600	5,2	90000	330000	570000

Tabl. 4.30. Parametry znamionowe wybranych wkładek bezpiecznikowych pełnozakresowych firmy SIBA na napięcie znamionowe 6-12 kV

Prąd znamionowy, w [A]	Znamionowy prąd wyłączalny, w [kA]	Rezystancja na zimno, w [mΩ]	Całka Joule'a w czasie przedłukowym, w [A ² s]	Prąd zwarciaowy spodziewany, w [kA] ¹ dla maksymalnego napięcia, w [A ² s]
8	63	120	180	1400
16		31	530	4400
31,5		20	2100	18000
63		12	8500	68000
80		9	16200	142000

4.5.3. Bezpieczniki gazowydmuchowe

Bezpieczniki gazowydmuchowe są bezpiecznikami, w których łuk elektryczny jest gaszony przez wydmuch gazów wytwarzanych przez łuk. Bezpieczniki gazowydmuchowe są budowane jako wewnętrzne, lub napowietrzne i przeznaczone są zgodnie z [109] do stosowania w następujących warunkach:

- Maksymalna temperatura otoczenia wynosi 40°C a temperatura średnia w okresie 24 h nie przekracza 35°C .
- Minimalna temperatura otoczenia wynosi:
 - ◆ -5°C dla wykonania "minus 5 wewnętrznego",
 - ◆ -15°C dla wykonania "minus 15 wewnętrznego lub napowietrzego",
 - ◆ -25°C dla wykonania "minus 25 wewnętrznego lub napowietrzego",
 - ◆ -40°C dla wykonania "minus 40 napowietrzego".

Zmiany temperatury otoczenia poza określone wartości wpływają na charakterystyki czasowo-prądowe bezpieczników.

- Natężenie napromieniowania słonecznego nie przekracza $1,1 \text{ kW/m}^2$.
- Poziom zabrudzeń nie powinien przekraczać poziomu "średniego" według PN-IEC 815 Wytyczne doboru izolatorów do warunków zabrudzeniowych, określonych w rozdziale 3.
- W instalacjach wewnętrznych występuje tylko kondensacja normalna.
- W instalacjach napowietrznych ciśnienie wiatru nie przekracza 700 Pa, co odpowiada wiatrowi o prędkości 34 m/s.
- Wysokość nie przekracza 1000 m nad poziomem morza.

Bezpieczniki gazowydmuchowe klasyfikuje się według ich:

- Zdolności wytrzymywania napięć powrotnych (TRV - transient recovery voltage). Według tej klasyfikacji mamy trzy klasy A, B lub C, które można scharakteryzować następująco:

- ◆ Klasa A

Bezpieczniki są przeznaczone do zabezpieczania małych transformatorów i małych baterii kondensatorów, instalowanych w sieciach rozdzielczych lub kablowych znajdujących się w pewnej odległości od większych stacji. Można je stosować jako zabezpieczenia w punktach podziału sieci. Parametry napięcia powrotnego probierczego charakteryzują się niższą wartością napięcia szczytowego u_c oraz dłuższym czasem t_3 niż dla bezpieczników klasy B.

- ◆ Klasa B

Bezpieczniki tej klasy są przeznaczone do zabezpieczania transformatorów w większych stacjach, baterii kondensatorów instalowanych w pobliżu większych stacji.

- ◆ Klasa C

Bezpieczniki tej klasy są przeznaczone do zabezpieczania transformatorów, baterii kondensatorów oraz obwodów zasilających dużych stacji rozdzielczych lub w jej pobliżu, gdy obciążenia transformatora są małe. W przypadku takich obciążeń TRV jest podobne do występującego w czasie działania wyłącznika i dlatego bezpieczniki klasy C są badane napięciami powrotnymi probierczymi określonymi dla wyłączników.

Parametry napięcia powrotnego probierczego dla każdej klasy podane są w [109].

- Typu charakterystyki czasowo-prądowej wkładki, które są określone na podstawie stosunku prądu przedłukowego odpowiadającemu czasowi 0,1 s, 10 s i 300 s a niekiedy 600 s. Według tego podziału mamy wkładki typu K lub T. Typ K oznacza wkładkę bezpiecznikową szybką a typ T wkładkę zwłoczną. Wymagane parametry dla

przedłukowych charakterystyk czasowo-prądowych dla wkładek typu K i T podano w tabl. 4.31 i tabl. 4.32.

- Znamionowego poziomu izolacji, który jest napięciem (przemiennym i udarowym) charakteryzującym izolację bezpiecznika. Zdefiniowano dwa poziomy izolacji nazwane "Lista 1" i "Lista 2". Wymagane parametry dla poziomu izolacji podano w [109].

Można podać następujące zadania bezpieczników gazowydmuchowych instalowanych po stronie górnego napięcia w stacjach słupowych:

- Zabezpieczenie transformatora przed uszkodzeniem kadzi, wycieku oleju i ewentualnym jego zapłonem wskutek zwarcia wewnętrznego transformatora.
- Zabezpieczenie od zwarć odcinka połączeń bezpieczników z zaciskami transformatora.
- Zabezpieczenie od zwarć odcinka pomiędzy zaciskami transformatora po stronie dolnego napięcia a następnym zabezpieczeniem.

Przedłukowa charakterystyka czasowo-prądowa wkładki bezpiecznikowej przeznaczonej do zabezpieczania transformatorów średniego napięcia powinna spełniać poniższe wymagania [14], [15], [44]:

$$\frac{I_{f10}}{I_r} \leq 6 \quad (4.129)$$

$$\frac{I_{f0,1}}{I_r} \geq 7 \cdot \left(\frac{I_r}{100}\right)^{0,25} \quad (4.130)$$

Tabl. 4.31. Graniczne wartości prądu przetopienia przedłukowych charakterystyk czasowo-prądowych dla wkładek typu K

	Prąd przetopienia, w [A]						
	Prąd znamionowy, w [A]	300 lub 600 s		10 s		0,1 s	
		min.	max.	min.	max/	min.	max.
Wartości preferowane	6,3	12,0	14,4	13,5	20,5	72	86
	10	19,5	23,4	22,4	34	128	154
	16	31,0	37,2	37,0	55	215	258
	25	50	60	60	90	350	420
	40	80	96	96	146	565	680
	63	128	153	159	237	918	1100
	100	200	240	258	388	1520	1820
	160	310	372	430	650	2370	2970
	200	480	576	780	1150	3880	4650
Wartości pośrednie	8	15	18	18	27	97	116
	12,5	25	30	29,5	44	166	199
	20	39	47	48	71	273	328
	31,5	63	76	77,5	115	447	546
	50	101	121	126	188	719	852
	80	160	192	205	307	1180	1420

Uwaga:
 300 s - dotyczy wkładek bezpiecznikowych na prądy znamionowe nie większe niż 100 A.
 600 s - dotyczy wkładek bezpiecznikowych na prądy znamionowe przekraczające 100 A.

Tabl. 4.32. Graniczne wartości prądu przetopienia przedlukowych charakterystyk czasowo-prądowych dla wkładek typu T

	Prąd przetopienia, w [A]						
	Prąd znamionowy	300 lub 600 s		10 s		0,1 s	
		min.	max.	min.	max/	min.	max.
Wartości preferowane	6,3	12,0	14,4	15,3	23,0	120	144
	10	19,5	23,4	26,5	40,0	224	269
	16	31,0	37,2	44,5	67	388	466
	25	50	60	73,5	109	635	762
	40	80	96	120	178	1040	1240
	63	128	153	195	291	1650	1975
	100	200	240	319	475	2620	3100
	160	310	372	520	775	4000	4800
Wartości pośrednie	200	480	576	850	1275	6250	7470
	8	15	18	18,0	31,0	166	199
	12,5	25	30	34,5	52	296	355
	20	39	47	57	85	496	595
	21,5	63	76	93	138	812	975
	50	101	121	152	226	1310	1570
80	160	192	248	370	2080	2500	

Uwaga:
300 s - dotyczy wkładek bezpiecznikowych na prądy znamionowe nie większe niż 100 A.
600 s - dotyczy wkładek bezpiecznikowych na prądy znamionowe przekraczające 100 A.

Przykładowa charakterystyka czasowo-prądowe bezpieczników gazowydmuchowych jest podana na rys. 4.47.

4.5.4. Bezpieczniki przekładnikowe

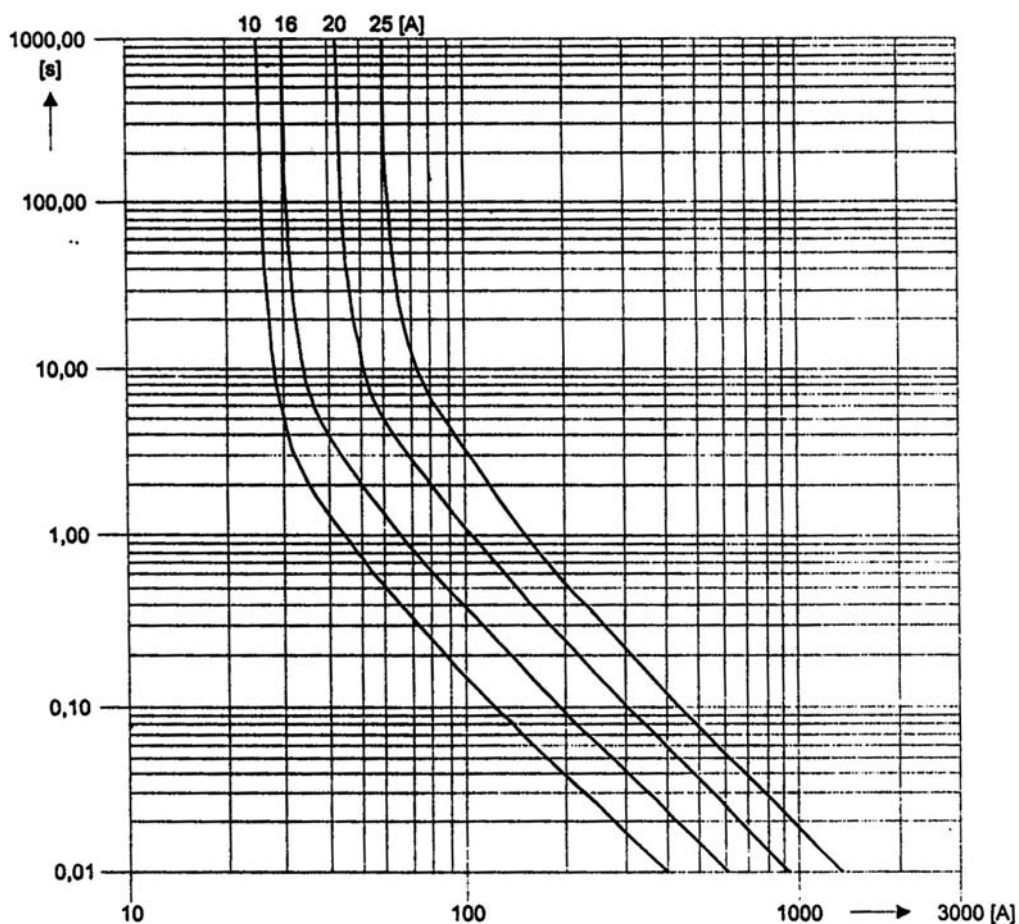
Bezpieczniki przekładnikowe dobieramy w sposób uproszczony sprawdzając jedynie:

- napięcie znamionowe,
- znamionowy prąd wyłączalny.

Cechą charakterystyczną bezpieczników przekładnikowych jest duża wartość rezystancji takiej wkładki, rzędu kilkudziesięciu lub kilkuset omów. Dane znamionowe wybranych bezpieczników przekładnikowych podano w tabl. 4.33.

Tabl. 4.33. Dane znamionowe bezpieczników przekładnikowych

Typ przekładnika	Napięcie znamionowe, w [kV]	Prąd znamionowy, w [A]	Znamionowy prąd wyłączalny, w [kA]	Rezystancja na zimno, w [Ω]
WBP-6	7,2	0,7	140	52
WBP-10	12	0,6	80	72
WBP-20	24	0,5	40	165
WBP-30	36	0,4	28	275



Rys. 4.47. Charakterystyki czasowo-prądowe bezpieczników gazowydmuchowych

4.5.5. Dobór bezpieczników

4.5.5.1. Napięcie znamionowe i znamionowy poziom izolacji

Napięcie znamionowe i znamionowy poziom izolacji określa się zgodnie z wcześniej podanymi zasadami przedstawionymi w rozdziale 4.3.2. Jednak w zasadzie wymaga się, aby napięcie znamionowe bezpiecznika równało się najwyższemu napięciu sieci U_m ze względu na możliwość wystąpienia nadmiernych przepięć przy zastosowaniu wkładki o napięciu znamionowym wyższym niż napięcie znamionowe sieci. Producent może dopuścić odstępstwo do tej zasady dla wkładek o napięciu znamionowym o jeden stopień wyższym od napięcia znamionowego sieci.

4.5.5.2. Prąd wyłączalny znamionowy (I_{nws})

Prąd wyłączalny znamionowy określa zdolność wyłączania przypisaną bezpiecznikowi i jest największą wartością składowej okresowej prądu zwarciowego, którą bezpiecznik jest w stanie wyłączyć bez względu na możliwą wartość składowej nieokresowej w normalnych warunkach użytkowania, w których:

- napięcie powrotne mieści się w zakresie określonym normą [97] lub [109],
- współczynnik mocy nie jest niższy od 0,07.

Spełniony powinien być warunek:

$$I_{nws} \geq I_k'' \quad (4.131)$$

gdzie:

- I_k'' - wartość prądu zwarciovego początkowego.

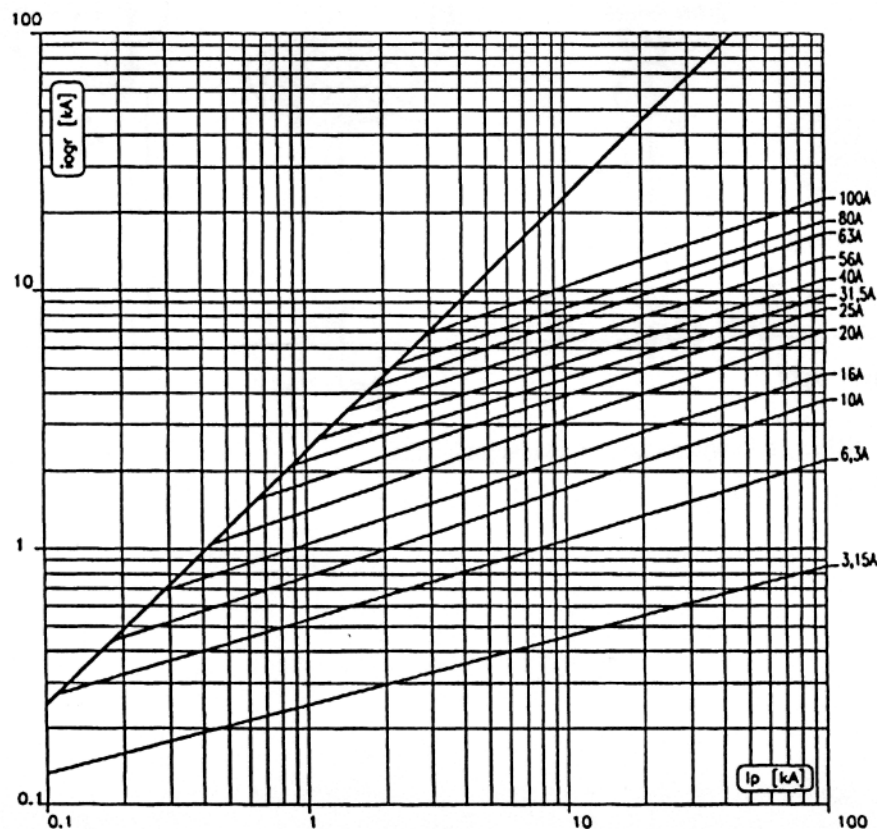
4.5.5.3. Charakterystyka prądów ograniczonych

Charakterystyka prądów ograniczonych przedstawia zależność największej chwilowej wartości prądu osiąganego podczas przerywania prądu przez bezpiecznik w funkcji prądu zwarciovego początkowego w zakresie zdolności wyłączalnej bezpiecznika. Przykładowa charakterystyka jest na rys. 4.48. Zdolność ograniczania wartości prądu poniżej wartości spodziewanego prądu udarowego pozwala na złagodzenie warunków doboru urządzeń rozdzielczych w obwodach zabezpieczanych bezpiecznikami. Ze względu na możliwość odchyłki prądu ograniczonego od wartości odczytanej z charakterystyki, przyjmuje się, że największy prąd, jaki może pojawić się w obwodzie zabezpieczanym bezpiecznikiem i_p wynosi:

$$i_p = k_{ub} \cdot i_{ogr} \quad (4.132)$$

gdzie:

- i_{ogr} - prąd ograniczony bezpiecznika wyznaczony z charakterystyki prądów ograniczonych dla największej spodziewanej wartości prądu zwarciovego początkowego,
- k_{ub} - współczynnik uwzględniający możliwość odchyłki od charakterystyki w działaniu bezpiecznika, przyjmuje się $k_{ub}=1,5$.



Rys. 4.48. Charakterystyka prądów ograniczonych wkładek bezpiecznikowych typu BMW - 7,2; 12; 24; 36 kV

4.5.5.4. Całka Joule'a

Całka Joule'a (oznaczana symbolem I^2t) to całka z kwadratu prądu w czasie, jest to energia wydzielana w obwodzie zabezpieczonym przez bezpiecznik a wyrażona w A^2s . Całka została zdefiniowana wzorem:

$$I^2t = \int_{t_0}^{t_1} i^2 \cdot dt \quad (4.133)$$

Wartość całki Joule'a jest określana dla dwóch czasów:

- w czasie przedłukowym bezpiecznika,
- w czasie wyłączenia.

W oparciu o całkę Joule'a definiowane są dwa następne pojęcia:

- Charakterystyka I^2t to krzywe przedstawiające wartości całki Joule'a dla czasów przedłukowych lub wyłączenia w zależności od prądu spodziewanego w określonych warunkach wyłączenia.
- Pasma I^2t to obszar zawarty pomiędzy charakterystyką najmniejszych wartości I^2t przedłukowych a charakterystyką największych wartości I^2t dla czasów wyłączenia w określonych warunkach.

Zgodnie z normami [97], [109] wartości całki Joule'a lub ww. charakterystyk powinny być podawane przez wytwórcę bezpiecznika. Wartości całki Joule'a (charakterystyka I^2t) powinny być tak dobrane, aby były mniejsze od dopuszczalnych całek Joule'a wytrzymywanych przez zabezpieczane urządzenia a także do ewentualnego sprawdzenia selektywności kolejnych zabezpieczeń.

4.5.5.5. Współczynnik K

Współczynnik K zgodnie z normą [101] to stosunek prądu przeciążenia, jakim może być wielokrotnie poddawana wkładka bezpiecznikowa do prądu przedłukowego a więc jest to pewna cecha bezpiecznika. Współczynnik K jest mniejszy od jedności a przykładowe wartości współczynnika K dla wkładek typu BMW podano w tabl. 4.34. Wartość ta jest określana w celu doboru parametrów znamionowych bezpiecznika mającego służyć do zabezpieczania silników. Charakterystykę przeciążeniową wkładki otrzymuje się przez pomnożenie charakterystyki prądowo-czasowej przedłukowej przez współczynnik K. Wartość współczynnika K wyznacza się dla czasu przedłukowego 10 s i można go stosować dla czasów od 5 s do 60 s przy częstotliwości rozruchów silnika do sześciu na godzinę i nie więcej niż dla dwóch rozruchów następujących bezpośrednio po sobie.

Tabl. 4.34. Przykładowe wartości współczynnika K dla wkładek typu BMW

Typ bezpiecznika	U_r	Długość	Współczynnik K dla prądów znamionowych wkładki		
	kV		mm	63 A	80A
BMW - 7,2	7,2	292	0,56	0,56	0,56
		442	0,60	0,60	0,60
BMW 12	12	537	0,60	0,59	0,56

4.5.5.6. Wybijak i inne urządzenia instalowane w bezpiecznikach

Wkładki topikowe wysokiego napięcia mogą być wyposażone w następujące dodatkowe urządzenia:

- wybijak
- ogranicznik temperatury.

Wybijak wkładki bezpiecznikowej to urządzenie mechaniczne stanowiące część wkładki, które podczas działania bezpiecznika uwalnia energię potrzebną do spowodowania zadziałania innych aparatów lub wskaźników zadziałania albo powoduje ryglowanie. Wybijak to bolec, który w momencie przepalenia się elementów topikowych wkładki pod wpływem uwalnianej energii sprężyny wykonuje ruch w górę. Siła, z jaką działa wybijak wynosi zwykle od 60÷120 N do 20 N i siła ta powinna zmieniać się linowo wraz z drogą. Wybijak w zależności od rozwiązania może spowodować:

- otwarcie styków rozłącznika bezpiecznikowego,
- zadziałanie łącznika zdalnej sygnalizacji przepalenia się wkładki bezpiecznikowej.

Ogranicznik temperatury to urządzenie mierzące temperaturę obudowy bezpiecznika, trwałe przekroczenie temperatury 100°C powoduje zadziałanie wybijaka a w efekcie otwarcie styków rozłącznika bezpiecznikowego.

4.5.5.7. Prąd znamionowy ciągły przy zabezpieczeniu transformatora

Prąd znamionowy ciągły, podobnie jak przy doborze innych urządzeń powinien spełniać warunek (4.22), jednak ze względu na specyfikę działania bezpiecznika, krótkie czasy wyłączenia dla dużych prądów, warunek ten może być niewystarczającym. Bezpieczniki zabezpieczające transformatory powinny mieć prąd znamionowy większy od prądu znamionowego transformatora, ponieważ należy uwzględnić występowanie udaru prądowego podczas załączania transformatora. Bezpieczniki ograniczające prąd powinny być dobrane tak, aby spełniały następujące dodatkowe warunki:

- Bezpieczniki nie działały przy załączeniu transformatora pod wpływem jego prądu załączania. W tym celu czas przedłukowy:
 - ◆ przy prądzie $12 \cdot I_{rT}$ powinien być większy od 0,1 s,
 - ◆ przy prądzie $25 \cdot I_{rT}$ powinien być większy od 0,01 s.
- Maksymalna wartość całki Joule'a bezpiecznika nie przekroczyła $10^6 \text{ A}^2\text{s}$. Wymaganie to wynika z wytrzymałości kadzi na rozerwanie podczas zwarcia wewnętrznego.
- Bezpieczniki działały z czasem nie dłuższym niż 1s dla zwarcia na odcinku pomiędzy zaciskami transformatora po stronie dolnego napięcia a następnym zabezpieczeniem.

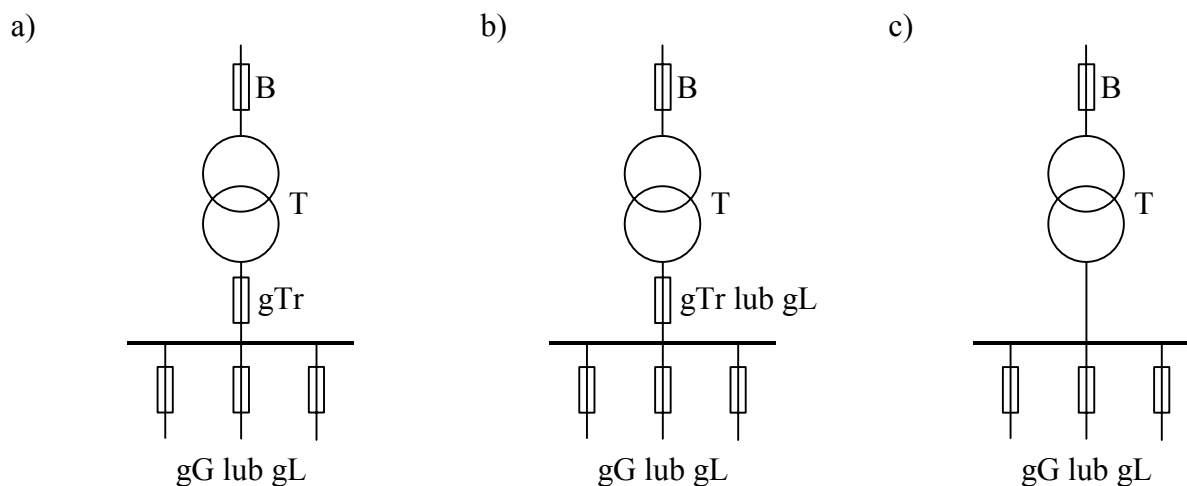
Wytwórnice podają w postaci tabel dopuszczalne wartości prądów znamionowych wkładek bezpiecznikowych w zależności od mocy znamionowej transformatora i jego napięcia znamionowego. W tabl. 4.35 podane takie wartości dla wkładek typu BMW.

Tabl. 4.35. Zalecane prądy znamionowe ciągłe wkładek bezpiecznikowych SN typu BMW do zabezpieczania transformatorów (wg katalogu bezpieczników)

Moc znamionowa transformatora w [kVA]	Znamionowe napięcie pierwotne transformatora w [kV]				
	6	10	15	20	30
	Napięcie znamionowe wkładki bezpiecznikowej w [kV]				
	7,2	12	17,5	24	36
	Prąd znamionowy ciągły wkładki bezpiecznikowej w [A]				
20	6,3	6,3	3,15	3,15	-

30	6,3	6,3	6,3	3,15	3,15
50	10	10	6,3	6,3	3,15
75	16	10	6,3	6,3	6,3
100	20	16	10	6,3	6,3
125	20 lub 25	16	10 lub 16	10	6,3
160	25	20	16	10	10
200	40	20	16	16	10
250	56	31,5	20	16	10
315	56	31,5 lub 40	25	20	16
400	63	40 lub 56	25 lub 31,5	20	16
500	80	56	40	25	25
630	100	63	50	31,5	25
800	-	80	63	40	31,5
1000	-	100	63	50	40

Niektóre firmy podają oprócz wartości prądu znamionowego wkładki bezpiecznikowej w funkcji mocy znamionowej transformatora także warunki selektywnej pracy zabezpieczeń po obu stronach tego transformatora. W takiej sytuacji należy rozpatrzyć trzy przypadki pokazane na rys. 4.49. W tablicach od 4.36 do 4.38 podano prądy znamionowe bezpieczników niepełnozakresowych firmy SIBA po stronie górnego i dolnego napięcia dla tych trzech przypadków.



Rys. 4.49. Zabezpieczanie stacji transformatorowej

Tabl. 4.36. Prądy znamionowe bezpieczników firmy SIBA po stronie górnego i dolnego napięcia klasy gG lub gL właściwie dobrane do transformatora

Moc znamionowa transformatora, w [kVA]	Napięcie znamionowe, w [kV]					Prąd znamionowy bezpiecznika po stronie wtórnej, w [A]
	6-7,2	10-12	15-17,5	20-24	30-36	
	Prąd znamionowy bezpiecznika, w [A]					
50	10-16	10	6,3-10	6,3	4-6,3	63
100	20-31,5	16-20	16	10	6,3-10	125
125	25-40	16-25	20	10-16	10	160
160	31,5-50	20-31,5	20-25	16-20	10-16	200
200	40-63	25-40	20-31,5	16-20	16	250
250	50-80	31,5-50	25-31,5	20-25	16-20	315
315	63-100	40-50	25-31,5	20-25	20-25	400
400	80-100	50-80	40-50	25-40	25-31,5	500
500	100-125	63-80	50-63	31,5-50	25-31,5	630
630	125-160	80-125	50-80	40-63	31,5-40	800
800	160	100-125	80-100	63	40-50	100
1000	160-250	125-160	80-100	53-80	40-50	1250
1250	250	160	100	80	50	-
1600	2x160	200	125	100	63	-
2000	2x200	250	160	125	2x40	-

Tabl. 4.37. Prądy znamionowe bezpieczników firmy SIBA po stronie górnego i dolnego napięcia klasy gTr właściwie dobrane do transformatora

Moc znamionowa transformatora, w [kVA]	Napięcie znamionowe, w [kV]					Prąd znamionowy bezpiecznika po stronie wtórnej, w [A]
	6-7,2	10-12	15-17,5	20-24	30-36	
	Prąd znamionowy bezpiecznika, w [A]					
100	20-25	16	16	10	6,3	100
125	25-40	16	20	10	10	125
160	31,5-40	20-25	20-25	16	10	160
200	40-50	25-31,5	20-31,5	16	16	200
250	50-63	40-50	25-31,5	16-25	16-20	250
315	63-80	50-63	25-31,5	25	20-25	315
400	80-100	63-80	40-50	25-31,5	25	400
500	100-125	80-100	50-63	31,5-40	25-31,5	500
630	125-160	100-125	50-80	40-50	31,5-40	630
800	160	125-160	80-100	63	40-50	800
1000	160-200	125-160	80-100	63-80	40-50	1000

Tabl. 4.38. Prądy znamionowe bezpieczników firmy SIBA po stronie górnego a po stronie dolnego napięcia zabezpieczenia kabli odejściowych klasy gG lub gL właściwie dobrane do transformatora

Moc znamionowa transformatora, w [kVA]	Napięcie znamionowe, w [kV]				
	6-7,2	10-12	15-17,5	20-24	30-36
	Prąd znamionowy bezpiecznika, w [A]				
50	10-16	10	6,3-10	6,3	4-6,3
100	16-31,5	16-25	16	10	6,3-10
125	20-40	16-31,5	20	10-16	6,3-10
160	31,5-50	20-31,5	20-25	16-20	10-16
200	31,5-63	25-40	20-31,5	16-20	10-16
250	40-80	25-40	25-31,5	16-25	10-20
315	50-100	31,5-50	31,5	16-25	16-25
400	63-100	40-63	31,5-50	20-40	16-25
500	80-125	50-80	31,5-63	25-50	20-31,5
630	100-160	63-100	40-80	31,5-63	20-40
800	125-160	80-125	63-100	40-63	25-50
1000	160-200	100-160	63-100	50-80	31,5-50
1250	250	160	100	80	50
1600	2x160	200	125	100	63
2000	2x200	250	160	125	2x40

4.5.5.8. Prąd znamionowy ciągły przy zabezpieczaniu silników

Szczegółowe zasady doboru bezpiecznika do zabezpieczania silników średniego napięcia określa norma [101]. Przy zabezpieczaniu silników SN prąd znamionowy wkładki bezpiecznikowej powinien być tak dobrany, aby prąd rozruchowy silnika nie spowodował jego zadziałania. Pożądane jest, aby wkładka posiadała duży prąd zadziałania w pobliżu punktu 10 s przedłukowej charakterystyki czasowo-prądowej. Jednocześnie prąd zadziałania w czasie poniżej 0,1 s powinien być mały w celu zapewnienia szybkiego wyłączenia zwarcia. Zgodnie z [101] przedłukowa charakterystyka czasowo-prądowa wkładki bezpiecznikowej przeznaczonej do zabezpieczania silników średniego napięcia powinna spełniać poniższe wymagania:

$$\frac{I_{f10}}{I_r} \geq 3 \quad \text{dla} \quad I_r \leq 100 \text{ A} \quad (4.134)$$

$$\frac{I_{f10}}{I_r} \geq 4 \quad \text{dla} \quad I_r > 100 \text{ A} \quad (4.135)$$

$$\frac{I_{f0,1}}{I_r} \leq 20 \cdot \left(\frac{I_r}{100} \right)^{0,25} \quad (4.136)$$

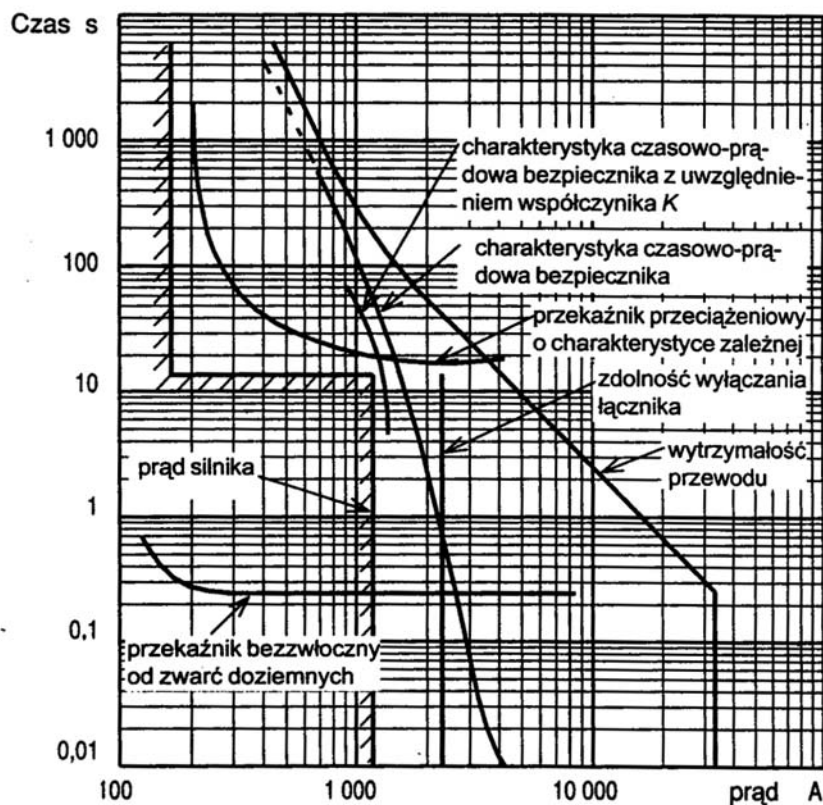
gdzie:

- I_{f10} - prąd o takiej wartości, że czas działania wkładki wynosi 10 s,
- $I_{f0,1}$ - prąd o takiej wartości, że czas działania wkładki wynosi 0,1 s,
- I_r - prąd znamionowy wkładki.

Na rys. 4.50 pokazano charakterystyki różnych elementów obwodu silnika w tym charakterystykę:

- silnika dla stanu normalnego i rozruchu,
- prądowo czasową i przeciążeniową bezpiecznika dla czasów od 5 do 60 s,
- prądowo czasową kabla.

Pokazano także właściwą koordynację tych charakterystyk.



Rys. 4.50. Charakterystyki poszczególnych elementów obwodu silnika

W celu doboru wkładki do stanu samorozruchu silnika należy spełnić warunek:

$$I_{sM} = I_{rM} \cdot k_{sM} \leq K \cdot I_{f t_{sM}} \quad (4.137)$$

gdzie:

- I_{sM} - prąd samorozruchu silnika,
- I_{rM} - prąd znamionowy silnika,
- k_{sM} - współczynnik samorozruchu silnika,
- $I_{f t_{sM}}$ - prąd o takiej wartości, że czas działania wkładki wynosi t_{sM} ,
- t_{sM} - czas trwania samorozruchu silnika.

Procedura obliczeniowa wyznaczania prądu znamionowego wkładki jest następująca:

- określamy prąd samorozruchu silnika i czas trwania samorozruchu,
- dla czasu samorozruchu i prądu samorozruchu odczytujemy z charakterystyki przeciążeniowej prąd znamionowy wkładki, której charakterystyka przechodzi przez ten punkt.

Niektóre firmy w katalogu bezpieczników podają wartości prądu 10-sekundowego i punkty charakterystyki przeciążeniowej wkładek dla różnych czasów z przedziału od 5 do 60 s. Przykład takich danych podano w tabl. 4.39 dla wkładek typu BMW.

Tabl. 4.39. Wartości prądu 10-sekundowego i punkty charakterystyki przeciążeniowej wkładek typu BMW

U _r kV	I _r A	Rozmiar mm	Wielkość A	Czas samorozruchu, w [s]						
				5	10	20	30	40	60	
7,2	63	292	I _f	210	190	170	160	155	145	
			K · I _f	118	106	95	90	87	81	
			I _f	300	270	240	230	215	205	
			K · I _f	165	148	132	126	118	113	
	100		I _f	400	360	320	300	285	270	
			K · I _f	224	201	179	168	159	151	
	63		442	I _f	220	200	180	170	165	160
				K · I _f	132	120	108	102	99	96
		I _f		300	270	240	230	215	205	
		K · I _f		180	162	144	138	129	123	
	80	I _f		370	330	300	280	265	250	
		K · I _f		222	198	180	168	159	150	
12	63	557		I _f	220	200	180	170	165	160
				K · I _f	132	120	108	102	99	96
	80		I _f	300	270	240	230	215	205	
			K · I _f	177	159	142	136	127	121	
	100		I _f	380	340	305	285	275	260	
			K · I _f	224	200	180	168	162	153	

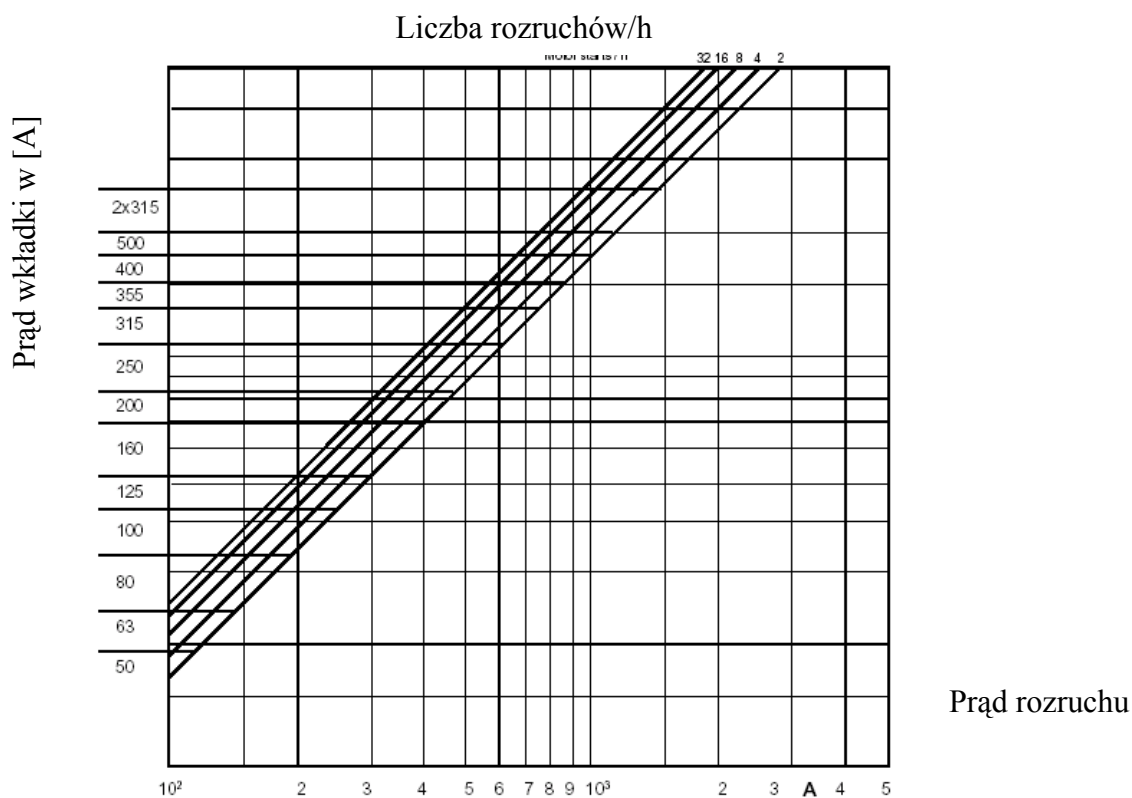
Przykład

Dla silnika o napięciu znamionowym 12 kV i prądzie samorozruchu wynoszącym 190 A przy czasie trwania samorozruchu 12 s dobrać wkładkę bezpiecznikową typu BMW.

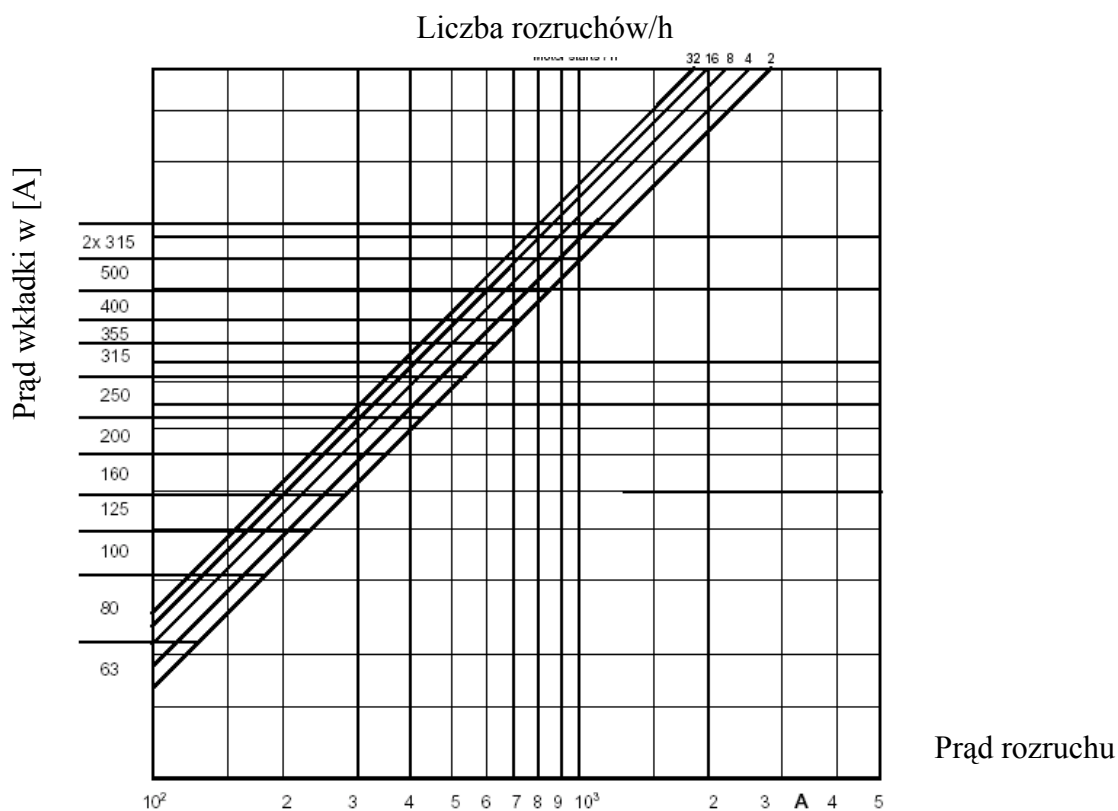
Rozwiązanie

Z tabl. 4.36 dla czasów 10 s i 20 s szukamy wkładki, dla której $K \cdot I_{f20} < I_{sM} = 190 \text{ A}$ oraz $K \cdot I_{f10} > I_{sM}$. Zgodnie z powyższą tabelą jedyną wkładką spełniającą te wymagania jest wkładka o prądzie znamionowym 100A albowiem $K \cdot I_{f20} = 180 \text{ A} < I_{sM} = 190 \text{ A}$ oraz $K \cdot I_{f10} = 200 \text{ A} > I_{sM} = 190 \text{ A}$.

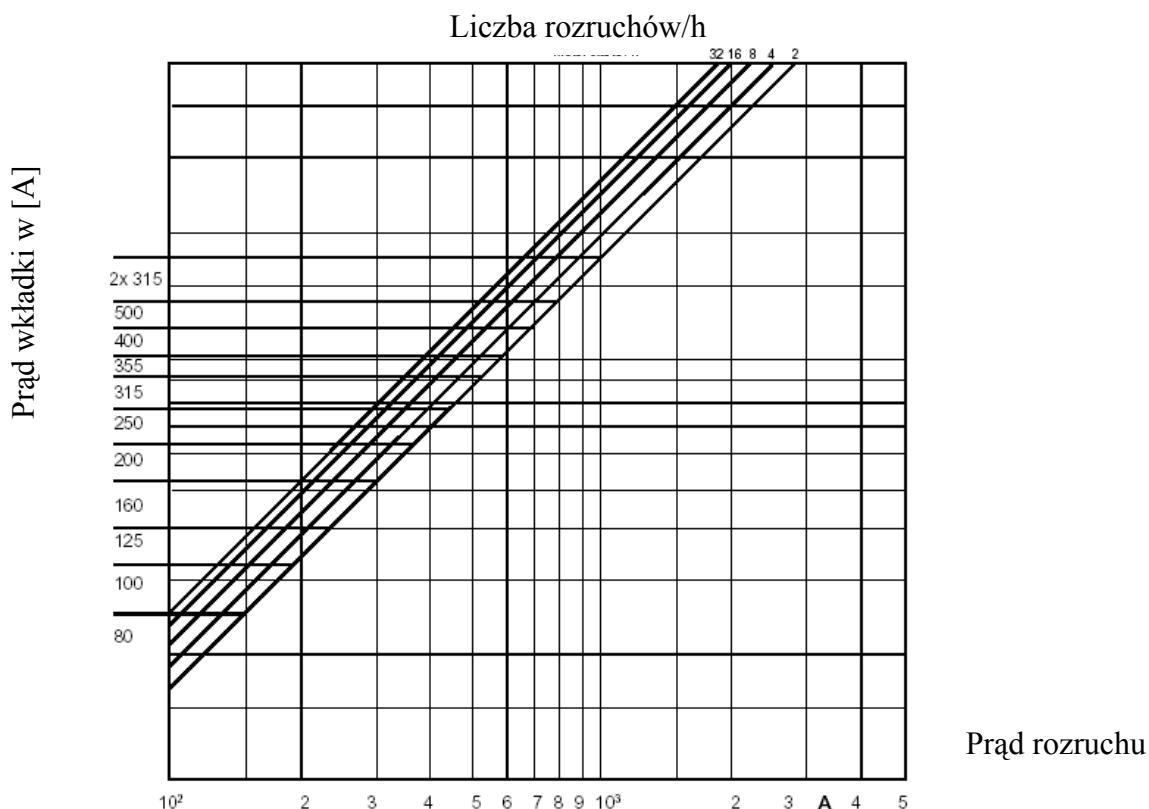
Firma SIBA dla bezpieczników swojej produkcji podaje prądy znamionowe wkładek bezpiecznikowych, jakie należy zastosować w funkcji prądu samorozruchu silnika dla silników o różnym czasie samorozruchu i o różnej liczbie samorozruchów na godzinę. Dane te podano na rys. 4.51, rys. 4.52 i rys. 4.53. W oparciu w te wykresy dobiera się wtedy prąd znamionowy wkładki bezpiecznikowej.



Rys. 4.51. Prądy znamionowe bezpieczników w funkcji prądu samorozruchu silnika dla silników o czasie samorozruchu nie większym niż 6 s np. pompy



Rys. 4.52. Prądy znamionowe bezpieczników w funkcji prądu samorozruchu silnika dla silników o czasie samorozruchu nie większym niż 15 s np. obrabiarki



Rys. 4.53. Prądy znamionowe bezpieczników w funkcji prądu samorozruchu silnika dla silników o czasie samorozruchu nie większym niż 30 s np. wentylatory

4.5.5.9. Prąd znamionowy ciągły przy zabezpieczeniu baterii kondensatorów

Przy zabezpieczeniu baterii kondensatorów energetycznych SN prąd znamionowy wkładki bezpiecznikowej powinien być:

$$I_{rb} \geq k_b \cdot I_{rc} \quad (4.138)$$

gdzie:

- k_b - współczynnik bezpieczeństwa równy 2,
- I_{rc} - prąd znamionowy baterii kondensatorów.

Dla bezpieczników firmy SIBA zdefiniowana jest tablica podająca prądy znamionowe bezpieczników w funkcji mocy znamionowej baterii kondensatorów - tabl. 4.40.

Tabl. 4.40. Prądy znamionowe bezpieczników firmy SIBA w funkcji mocy znamionowej baterii kondensatorów

Moc znamionowa baterii kondensatorów, w [kVA]	Napięcie znamionowe, w [kV]		
	6-7,2	10-12	20-24
	Prąd znamionowy bezpiecznika, w [A]		
50	10	6,3	6,3
100	20	10	6,3
200	40	20	10

250	50	25	16
300	63	31,5	16
400	80	40	20
500	100	50	25
750	160	80	40
1000	200	100	50
1250	250	125	63
1600	315	160	80
2000	315	200	100

4.5.6. Dobór podstawy bezpiecznikowej

Dobór podstawy bezpiecznikowej poza wyborem typu dostosowanego do warunków zainstalowania polega na doborze:

- napięcia znamionowego,
- znamionowego poziomu izolacji,
- prądu znamionowego.

Poziom izolacji przerwy bezpiecznej izolacyjnej, a więc przerwy międzystykowej przy wyjętej wkładce bezpiecznikowej powinien być określony jedynie dla podstaw, którym przypisuje się właściwości izolacyjne. Prąd znamionowy podstawy bezpiecznikowej powinien być dostosowany do wybranej wkładki bezpiecznikowej.

4.6. DOBÓR DŁAWIKÓW PRZECIWZWARCIOWYCH

4.6.1. Wprowadzenie

Dławiki przeciwzwarciovowe są stosowane w rozdzielniach SN w celu:

- ograniczenia prądów zwarciovowych,
- utrzymania odpowiedniego poziomu napięcia na szynach zbiorczych w przypadku zwarcia za dławikiem liniowym lub zwarcia na sąsiedniej sekcji w przypadku dławika sekcyjnego,
- połączenia do pracy równoległej źródeł z jednoczesnym ograniczeniem prądów zwarciovowych.

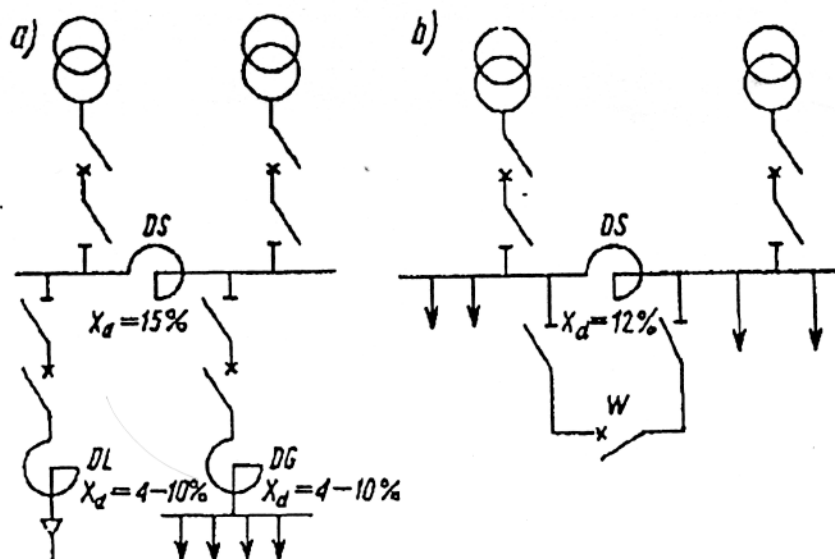
Przy doborze dławików należy określić [98]:

- typ i rodzaj wykonania,
- napięcie znamionowe (U_r),
- prąd znamionowy ciągły (I_r),
- impedancję dławika,
- znamionowy prąd krótkotrwały,
- znamionowy czas trwania prądu krótkotrwałego.

4.6.2. Reaktancja dławika

Reaktancja dławika wyrażana jest w omach X_D przy znamionowej częstotliwości lub w procentach. Reaktancja dławika wyrażona w procentach $x_{D\%}$ stanowi procentową stratę napięcia na dławiku przy przepływie przez niego prądu znamionowego. Te dwie wielkości są powiązane zależnością:

$$X_D = \frac{x_{D\%}}{100} \cdot \frac{U_r}{\sqrt{3} \cdot I_r} \quad (4.139)$$



Rys. 4.54. Miejsca zainstalowania dławików zwarciovych w rozdzielni SN:

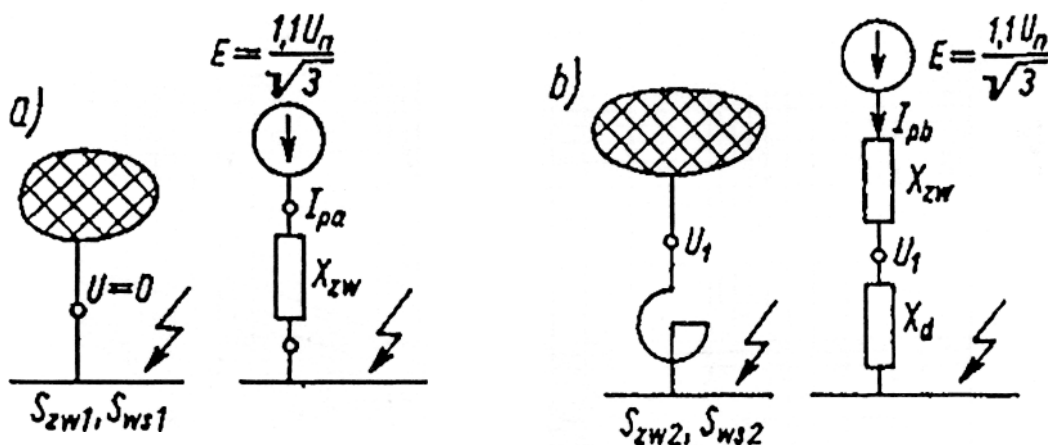
- układ z dławikiem liniowym DL, dławikiem grupowym DG i dławikiem sekcijnym DS,
- układ z dławikiem sekcijnym DS bocznikowanym wyłącznikiem W normalnie zamkniętym i otwierającym przy przepływie prądu zwarciovego.

Jeżeli dławik ma ograniczać za dławikiem moc zwarciovą od wartości S_{zw1} do wartości S_{zw2} to reaktancja dławika wyrażona w omach jest określona zależnością (rys. 4.55):

$$X_D \geq 1,1 \cdot U_r^2 \cdot \left(\frac{1}{S_{zw2}} - \frac{1}{S_{zw1}} \right) \quad (4.140)$$

Spośród szeregu dławików o różnych wielkościach znamionowych należy wybrać dławik:

$$x_{D\%} \geq \frac{\sqrt{3} \cdot I_r \cdot 100}{U_r} \cdot X_D \quad (4.141)$$



Rys. 4.55. Schemat do wyznaczenia reaktancji dławika

Jeżeli zainstalowanie dławika ma zapewnić utrzymanie przed dławikiem napięcia o wartości nie mniejszej niż U_1 w czasie trwania zwarcia za dławikiem, to:

$$X_D \geq \frac{U_1}{1,1 \cdot U_r - U_1} \cdot X_{zw} \quad (4.142)$$

4.6.3. Znamionowy prąd krótkotrwały

Dla dławików określa się znamionowy prąd krótkotrwały, jest to wartość skuteczna ustalona składowej okresowej symetrycznej płynąca przez określony znamionowy czas trwania prądu krótkotrwałego, na którą dławik został skonstruowany i którą może wytrzymać bez nadmiernego nagrzewania się lub nadmiernych naprężeń mechanicznych.

4.7. DOBÓR PRZEKŁADNIKÓW PRĄDOWYCH

Dobór przekładników prądowych polega na ustaleniu następujących cech i danych znamionowych [70]:

- typ i rodzaj wykonania,
- napięcie znamionowe,
- znamionowy poziom izolacji,
- minimalna droga upływu,
- znamionowy prąd pierwotny,
- znamionowy prąd wtórny,
- znamionowy prąd krótkotrwały wytrzymywany,
- znamionowy prąd szczytowy wytrzymywany,
- moc znamionowa,
- klasa dokładności, czyli: znamionowy współczynnik bezpieczeństwa dla przyrządów pomiarowych lub współczynnik graniczny dokładności dla zabezpieczeń (dawniej liczba przetężeniowa 5 lub 10%).

Rozróżnia się przekładniki prądowe:

- wewnętrzne lub napowietrzne,
- o izolacji: suchej, olejowej lub gazowej (SF_6),
- o izolacji przeciwzabrudzeniowej lub nie,
- wsporcze lub przepustowe,
- jednordzeniowe lub wielordzeniowe,
- pomiarowe lub zabezpieczeniowe,
- o jednej wartości przekładni lub przełączalne.

Znamionowy prąd pierwotny wybiera się spośród znormalizowanych wartości: 10-12,5-15-20-25-30-40-50-60-75-80 i ich dziesiętnych wielokrotności (wyróżniono wartości zalecane).

Znamionowy prąd wtórny wynosi zwykle 5 A. Przy dużych odległościach przekładnika od miejsca zainstalowania przyrządów pomiarowych lub zabezpieczeniowych wskazane jest stosowanie przekładników prądowych o prądzie znamionowym wtórnym 1 A czasem 2 A.

Moc znamionową, klasę dokładności, znamionowy współczynnik bezpieczeństwa dla przyrządów pomiarowych lub współczynnik graniczny dokładności dla zabezpieczeń ustala się zgodnie z potrzebami tych urządzeń.

4.8. DOBÓR PRZEKŁADNIKÓW NAPIĘCIOWYCH

Przekładniki napięciowe dobiera się ze względu na następujące cechy i dane znamionowe [74]:

- typ i rodzaj wykonania,
- napięcie znamionowe pierwotne,
- napięcie znamionowe wtórne,
- znamionowy poziom izolacji,
- minimalna droga upływu,
- moc znamionowa,
- klasa dokładności.

Ze względu na wymagania i różne warunki pracy rozróżnia się przekładniki napięciowe:

- wewnętrzne lub napowietrzne,
- o izolacji: suchej, olejowej lub gazowej (SF_6),
- o izolacji przeciwzabrudzeniowej lub nie,
- z pełną izolacją obu biegunów lub z jednym biegunem uziemionym,
- indukcyjne lub pojemnościowe,
- z jednym uzwojeniem wtórnym lub z wieloma uzwojeniami wtórnymi.

Uzwojenia pierwotne przekładników napięciowych mogą być włączane na napięcia fazowe lub międzyprzewodowe w zależności od sposobu połączeń tych uzwojeń. W zależności od tego musi być spełnione tylko jedno z dwóch poniższych wymagań dla napięcia znamionowego pierwotnego U_{1r} :

$$U_{1r} \geq U_{sr} \quad (4.143)$$

$$U_{1r} \geq \frac{U_{sr}}{\sqrt{3}} \quad (4.144)$$

gdzie:

- U_{sr} - napięcie znamionowe sieci (międzyprzewodowe).

W zależności od sposobu przyłączenia uzwojenia pierwotnego i sposobu uziemienia sieci należy wybrać przekładnik napięciowy o odpowiednim współczynniku napięcia znamionowego k_t i odpowiedni czas trwania krotności napięcia znamionowego. Współczynnik napięcia znamionowego k_t jest wielkością, przez którą należy pomnożyć znamionowe napięcie pierwotne w celu ustalenia najwyższej wartości napięcia, przy którym przekładnik powinien mieć wymaganą wytrzymałość termiczną w odpowiednim czasie oraz wymaganą dokładność. Znormalizowane wartości współczynnika napięcia znamionowego k_t i odpowiadające im czasy wynoszą:

- 1,2/(czas dowolny),
- 1,5/30 s,
- 1,9/30 s,
- 1,9/8 godzin.

I tak np. dla sieci z izolowanym punktem neutralnym pracującej bez automatycznego wyłączenia doziemień dla przekładników włączonych między przewód fazowy a ziemię współczynniku napięcia znamionowego k_t powinien wynosić 1,9/8 godzin.

Napięcie znamionowe wtórne przekładników napięciowych jest znormalizowane i wynosi

- 100 V dla przekładników włączonych na napięcie międzyprzewodowe,

- $\frac{100}{\sqrt{3}}$ dla przekładników włączonych na napięcie fazowe,
- $\frac{100}{3}$ dla uzwojeń dodatkowych łączonych w trójkąt przekładników włączonych na napięcie międzyprzewodowe.

5. INSTALACJE UZIEMIAJĄCE STACJI ELEKTROENERGETYCZNEJ

5.1. UWAGI OGÓLNE

Celem niniejszego rozdziału jest podanie kryteriów projektowania i eksploatacji instalacji uziemiającej w stacji elektroenergetycznej o napięciu powyżej 1 kV, czyli instalacji uziemiającej na terenie zamkniętego obszaru ruchu elektrycznego. Dodatkowo zostaną omówione:

- zagrożenia porażeniowe poza stacją wysokiego napięcia, dla której rozważano instalację uziemiającą wywołane przez napięcia przenoszone z tego obiektu,
- zagrożenia izolacji instalacji niskiego napięcia przepięciami wywołanymi doziemieniami w instalacji wysokiego napięcia stacji zasilającej.

Instalacja uziemiająca w stacji elektroenergetycznej jest:

- głównym środkiem ochrony przeciwporażeniowej przed dotykiem pośrednim,
- uziemieniem roboczym sieci elektroenergetycznej,
- uziemieniem dla instalacji odgromowej.

Instalacja uziemiająca powinna spełniać cztery następujące wymagania:

- mieć odpowiednią wytrzymałość mechaniczną i korozyjną,
- mieć odpowiednią wytrzymałość na cieplne działanie największych prądów doziemienia,
- chronić przed uszkodzeniem urządzenie i wyposażenie,
- zapewnić bezpieczeństwo ludzi przy zagrożeniu wywołanym napięciami powstającymi podczas przepływu, przez układ uziemiający, największego prądu doziemienia.

Parametrami na podstawie, których wymiaruje się układ uziemiający są:

- wartość prądu doziemienia I_E ,
- czas doziemienia,
- charakterystyka geoelektryczna gruntu.

5.2. WYMIAROWANIE INSTALACJI UZIEMIAJĄCYCH WEDŁUG PN-E 05115:2002

5.2.1. Wymiarowanie instalacji uziemiającej ze względu na korozję i narażenia mechaniczne

W stacji elektroenergetycznej należy wykonać uziom sztuczny. Uziom powinien być wykonany z materiałów odpornych na:

- korozję, czyli działanie chemiczne, biologiczne, utlenianie, tworzenie się ogniw elektrolitycznych, elektrolizę itp.,
- uszkodzenia mechaniczne, jakie mogą wystąpić w czasie budowy uziomu lub w czasie jego eksploatacji.

Minimalne wartości przekrojów przewodów uziomowych ze względu na korozję i narażenia mechaniczne podane są w tabl. 5.1.

Minimalne przekroje przewodów uziemiających oraz przewodów wyrównawczych ze względu na ich wytrzymałość mechaniczną i korozyjną powinny wynosić:

- miedź 16 mm²
- aluminium 35 mm²
- stal 50 mm²

Tabl. 5.1: Minimalne wartości przekrojów przewodów uziomowych

Materiał		Wyrób	Minimalne rozmiary				
			Wyrób właściwy			Pokrycie/powłoka	
			Średnica	Przekrój	Grubość	Grubość jednostkowa	Grubość średnia
			[mm]	[mm ²]	[mm]	[μm]	[μm]
Stal	Cynkowanie gorące	Taśma ²⁾		90	3	63	70
		Profil (w tym płyta)		90	3	63	70
		Rura	25		2	47	55
		Pręt okrągły dla uziomu pionowego	16			63	70
		Drut okrągły dla uziomu poziomego	10				50
	Z powłoką z ołowiu ¹⁾	Drut okrągły dla uziomu poziomego	8			1000	
	Z tłoczoną osłoną miedzianą	Pręt okrągły dla uziomu pionowego	15			2000	
	Z elektrolityczną powłoką z miedzi	Pręt okrągły dla uziomu pionowego	14,2			90	100
Miedź	Goła	Taśma		50	2		
		Drut okrągły dla uziomu poziomego		25 ³⁾			
		Linka	1,8 *	25			
		Rura	20		2		
	Ocynkowana	Linka	1,8 *	25		1	5
	Ocynkowana	Taśma		50	2	20	40
	Z powłoką z ołowiu	Linka	1,8 *	25		1000	
		Drut okrągły		25		100	
* Dotyczy pojedynczego drutu.							
¹⁾ Nie stosuje się w przypadku bezpośredniego umieszczenia w betonie.							
²⁾ Taśma walcowana lub wycięta z zaokrąglonymi brzegami.							
³⁾ W warunkach ekstremalnych, gdy doświadczenia pokazują, że ryzyko korozji i uszkodzenia mechanicznego jest skrajnie niskie, można zastosować przekrój 16 mm ² .							

5.2.2. Wymiarowanie instalacji uziemiającej ze względu na wytrzymałość cieplną

Wymiarowanie instalacji uziemiającej ze względu na wytrzymałość cieplną dokonuje się przyjmując wartości prądów zgodnie z wytycznymi zawartymi w tabl. 5.2. Przekrój przewodów instalacji uziomowej oblicza się w zależności od czasu trwania zwarcia, przy czym graniczną wartością jest czas trwania zwarcia równy 5 s.

Dopuszczalna minimalna wartość przekroju przewodów instalacji uziomowej A ze względu na nagrzewania, które są wyłączane w czasie krótszym niż 5 s (założono wtedy adiabatyczny wzrost temperatury), są określone zależnością:

$$A = \frac{I}{K} \cdot \sqrt{\frac{t_F}{\ln \frac{\Theta_f + \beta}{\Theta_i + \beta}}} \quad (5.1.)$$

Tabl. 5.2: Wytyczne do wyznaczania wartości prądu doziemienia

Typ układu sieci wysokiego napięcia			Prąd uwzględniany przy obliczeniach cieplnych ¹⁾		Prąd uwzględniany przy obliczeniach napięcia uziomowego i napięć dotykowych rażeniowych
			Uziom	Przewód uziemiający	
Sieć z izolowanym punktem neutralnym			-	I''_{kEE} ⁹⁾	$I_E = r \cdot I_C$ ⁷⁾
Sieć skompensowana	Stacja z dławikiem gaszącym		-	I''_{kEE} ^{3) 9)}	$I_E = r \cdot \sqrt{(I_L)^2 + (I_{Res})^2}$ ²⁾
	Stacja bez dławika gaszącego				$I_E = r \cdot I_{Res}$
Sieć z uziemionymi punktami neutralnymi przez małe impedancje			I''_{k1} ⁴⁾	I''_{k1}	I_E ⁵⁾
Sieć skompensowana i z dorywczo uziemionymi punktami neutralnymi przez małe impedancje	W stacjach, w których punkt neutralny jest dorywczo uziemiony		I''_{k1} ⁴⁾	I''_{k1} ⁸⁾	I_E ⁵⁾
	W pozostałych stacjach	z dławikiem gaszącym	- ⁶⁾	I''_{kEE} ³⁾	$I_E = r \cdot \sqrt{(I_L)^2 + (I_{Res})^2}$ ²⁾
bez dławika gaszącego		$I_E = r \cdot I_{Res}$			

¹⁾ Należy uwzględnić minimalne przekroje podane w tabl. 5.1. Wielkości podane w tej kolumnie to wartości początkowe mające wskazać rodzaj zwarcia. Podczas obliczeń cieplnych podstawiamy do wzoru (5.1) prąd zastępczy cieplny I_{th} wyznaczony w oparciu prąd początkowy i czas trwania zwarcia.

²⁾ Dotyczy tylko sieci dobrze skompensowanej. Przy znaczącym nieskompensowaniu należy dodatkowo uwzględnić prąd resztkowy.

³⁾ Przy projektowaniu przewodów uziemiających dławików gaszących należy wziąć pod uwagę ich prądy znamionowe.

⁴⁾ Jeżeli są możliwe różne drogi prądowe, można przy projektowaniu układu uziomowego uwzględnić wypadkowy rozptył prądu.

⁵⁾ Nie ma ogólnego wzoru (patrz rys. 5.2).

⁶⁾ Wystarczy zastosować minimalny przekrój poprzeczny podany w załączniku A

⁷⁾ Jeżeli w lokalnej sieci wysokiego napięcia, np. w sieci przemysłowej, doziemienie może utrzymywać się stosunkowo długo, np. przez kilka godzin, zaleca się wtedy uwzględnienie I''_{kEE} .

⁸⁾ Jeżeli I''_{kEE} ma większą wartość od I''_{k1} to należy brać pod uwagę prąd o większej wartości.

⁹⁾ Jeżeli czas doziemienia jest mniejszy od 1 s, można stosować I_C lub I_{Res} .

Oznaczenia zastosowane w tabl. 5.2:

I_C Obliczony lub zmierzony pojemnościowy prąd doziemienia.

I_{Res} Prąd resztkowy (nieskompensowany). Jeżeli wartość prądu resztkowego I_{Res} nie jest znana, można przyjmować, że jest on równy 10% I_C

I_L Suma prądów znamionowych, połączonych równolegle, dławików gaszących zainstalowanych w rozpatrywanej sieci.

I''_{kEE} Prąd doziemienia podwójnego, obliczony zgodnie z normą zwarciovą (można przyjmować, że maksymalna wartość I''_{kEE} jest równa 85% wartości prądu początkowego składowej okresowej).

I''_{k1} Prąd początkowy składowej okresowej przy zwarciu faza-ziemia, obliczony zgodnie z normą zwarciovą.

I_E Prąd uziomowy.

r Współczynnik redukcyjny. Jeżeli linie napowietrzne i kablowe, wychodzące ze stacji, mają różne współczynniki redukcyjne należy wyznaczyć odpowiednią wartość tego prądu.

gdzie:

- A - powierzchnia przekroju poprzecznego w $[\text{mm}^2]$,
- I - prąd płynący przez przewód lub uziom w $[\text{A}]$,
- t_f - czas trwania zwarcia w $[\text{s}]$,
- K - stała, której wartość zależy od materiału przewodnika, przez który płynie prąd; w tabl. 5.3 podano wartości K dla najczęściej stosowanych materiałów przy założeniu, że temperatura początkowa wynosi 20°C ,
- β - odwrotność rezystancyjnego współczynnika temperaturowego przewodnika, przez który przepływa prąd w temperaturze 0°C (wartości w tabl. 5.3),
- Θ_1 - temperatura początkowa podana w stopniach Celsjusza; wartość Θ_1 można przyjąć z IEC 60287-3-1; jeżeli brak jest odpowiednich wartości w tablicach krajowych, należy przyjąć, że temperatura gruntu na głębokości 1 m wynosi 20°C ,
- Θ_f - temperatura końcowa, w $[\text{C}]$.

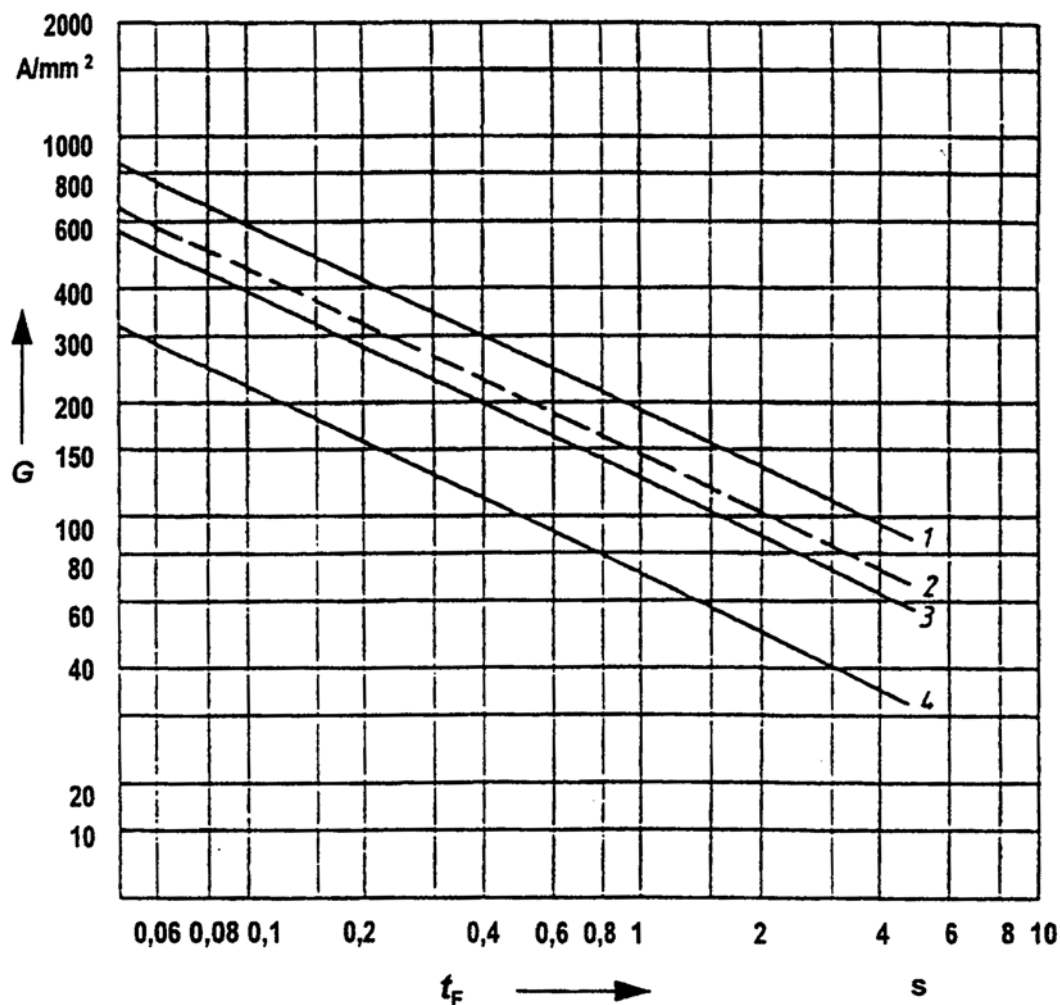
Tabl. 5.3. Wartości współczynników β i K

Materiał	β , w $[\text{C}]$	K , w $\left[\frac{\text{A} \cdot \sqrt{\text{s}}}{\text{mm}^2} \right]$
Miedź	234,5	226
Aluminium	228	148
Stal	202	78

Występujący w tabl. 5.2 współczynnik redukcyjny r jest stosunkiem prądu ziemnowrotnego do sumy składowych kolejności zerowej prądów płynących w przewodach fazowych odvodu roboczego z dala od miejsca zwarcia i od układu uziomowego instalacji.

W sytuacji, gdy przewód uziemiający znajduje się w powietrzu zaś uziom w gruncie to, zamiast wzoru (5.1), można posługiwać się gęstością prądu zwarciovego G zdefiniowanej jako $G = \frac{I}{A}$. Gęstość prądu zwarciovego w funkcji czasu trwania zwarcia można odczytać z rys. 5.1.

Wykres ten został stworzony dla temperatury początkowej 20°C i temperatury końcowej 300°C .



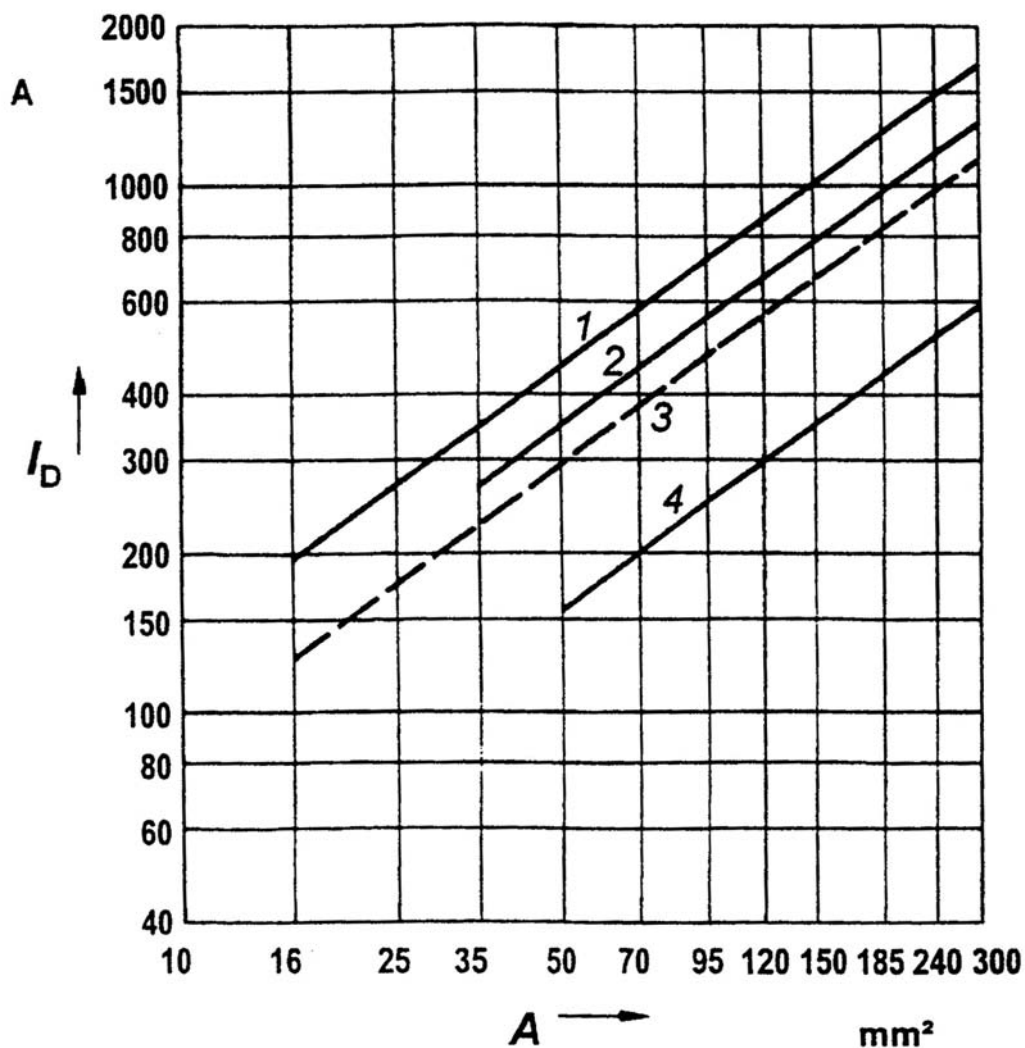
Rys. 5.1. Dopuszczalna gęstość prądu zwarcia G w funkcji czasu trwania zwarcia, gdzie poszczególne linie odpowiadają:

- 1 - miedź goła lub pokryta cynkiem,
- 2 - miedź pokryta cyną lub powłoką z ołowiu,
- 3 - aluminium (tylko przewody uziemiające),
- 4 - stal ocynkowana.

Uwaga:

Linie 1, 3 i 4 odnoszą się do temperatury końcowej 300°C, a linia 2 do temperatury końcowej 150°C.

Dopuszczalna minimalna wartość przekroju przewodów instalacji uziomowej A ze względu na nagrzewania, które są wyłączane w czasie dłuższym niż 5 s (np. w sieci z izolowanym lub skompensowanym punktem neutralnym), są określone za pomocą wykresów na rys. 5.2 i rys. 5.3 w zależności od prądu dopuszczalnego długotrwałego I_D . Prąd dopuszczalny długotrwałe jest równy prądowi zastępczemu cieplnemu określonego zgodnie z tabl. 5.2. Wykresy na rys. 5.2 i rys. 5.3 zostały wyznaczone dla temperatury końcowej 300°C, a gdy temperatura końcowa jest inna to prąd dopuszczalny długotrwałe należy przemnożyć przez współczynniki podane w tabl. 5.3 i następnie zastosować rys. 5.2 lub rys. 5.3 krzywe 1, 2 i 4.

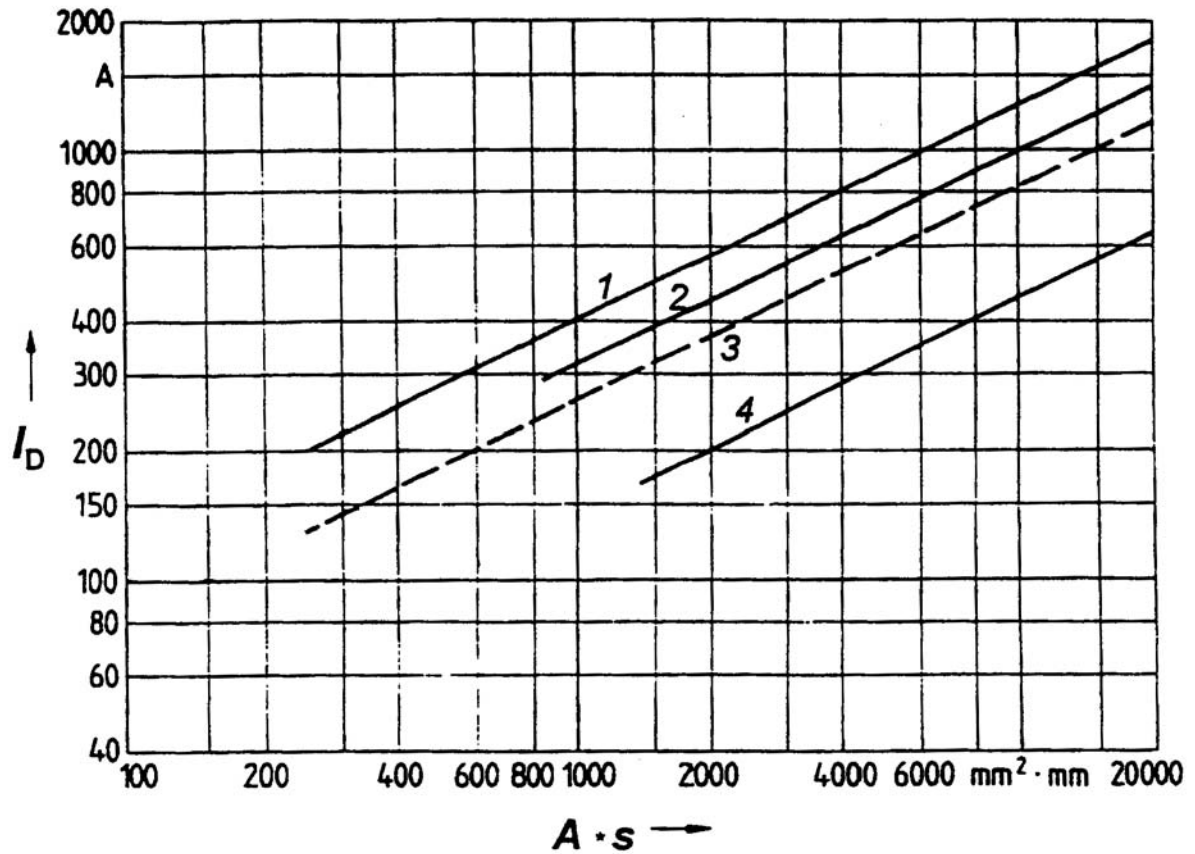


Rys. 5.2. Zależność prądu długotrwałego I_D od przekroju przewodów uziemiających o przekroju okrągłym, gdzie poszczególne linie odpowiadają:

- 1 - miedź goła lub pokryta cynkiem,
- 2 - aluminium,
- 3 - miedź pokryta cyną lub powłoką z ołowiu,
- 4 - stal ocynkowana.

Uwaga:

Linie 1, 2 i 4 odnoszą się do temperatury końcowej 300°C , a linia 3 do temperatury końcowej 150°C .



Rys. 5.3. Zależność prądu długotrwałego I_D od przekroju przewodów uziemiających o przekroju okrągłym, gdzie poszczególne linie odpowiadają:

- 1 - miedź goła lub pokryta cynkiem,
- 2 - aluminium,
- 3 - miedź pokryta cyną lub powłoką z ołowiu,
- 4 - stal ocynkowana.

Uwaga:

Linie 1, 2 i 4 odnoszą się do temperatury końcowej 300°C , a linia 3 do temperatury końcowej 150°C .

Tabl. 5.3. Współczynniki do skorygowania wartości długotrwałego prądu dla temperatury końcowej innej niż 300°C

Temperatura końcowa w $^{\circ}\text{C}$	Współczynniki poprawkowy
400	1,2
350	1,1
300	1,0
250	0,9
200	0,8
150	0,7
100	0,6

5.2.3. Wymiarowanie instalacji uziemiającej ze względu na napięcia dotykowe i krokowe rażeniowe

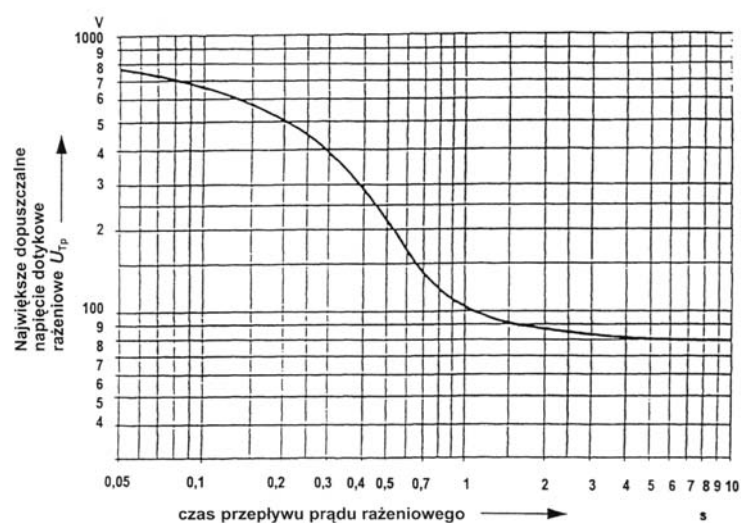
5.2.3.1. Wprowadzenie

Wymiarując instalację uziemiającą ze względu na bezpieczeństwo obsługi projektujemy tą instalację w taki sposób, aby nie przekroczyć największych dopuszczalnych napięć dotykowych krokowych i rażeniowych, których wartości podano na rys. 5.4. Na rysunku tym podano wartości przy następujących założeniach:

- prąd rażeniowy płynie na drodze goła ręka- gołe stopy,
- prawdopodobieństwo wystąpienia założonej impedancji ciała człowieka wynosi 50%,
- prawdopodobieństwo wystąpienia fibrylacji komór serca wynosi 5%,
- nie występują dodatkowe rezystancje.

Norma [62] dopuszcza:

- analizę wyłącznie napięć dotykowych rażeniowych albowiem dopuszczalne napięcia krokowe rażeniowe są większe od dopuszczalnych napięć dotykowych rażeniowych, czyli gdy instalacja uziemiająca spełnia wymagania dotyczące napięć dotykowych rażeniowych to można przyjąć, że nie wystąpią niebezpieczne napięcia krokowe rażeniowe,
- uwzględnienie dodatkowych rezystancji np. obuwia, materiałów powierzchniowych, czyli rezystancję stanowiska.



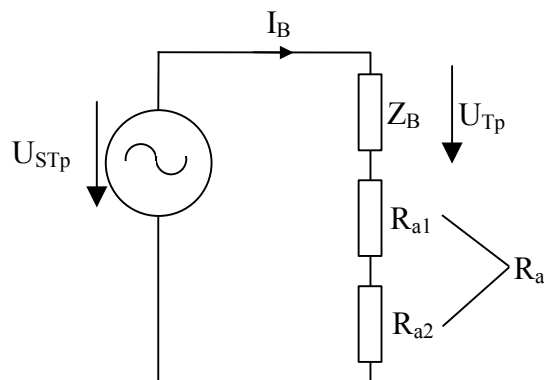
UWAGA 1: Krzywa dotyczy doziemień w sieciach wysokiego napięcia.

UWAGA 2: Dla czasów rażenia znacznie dłuższych od pokazanych na rysunku można przyjmować $U_{Tp} = 75$ V.

Rys. 5.4. Zależność dopuszczalnych wartości napięcia dotykowego rażeniowego w funkcji czasu przepływu prądu rażeniowego

5.2.3.2. Dodatkowe rezystancje

W celu uwzględnienia dodatkowych rezystancji podano na rys. 5.5. schemat obwodu rażeniowego.



Rys. 5.5. Schemat obwodu rażeniowego, gdzie:

- U_{STp} - największe dopuszczalne napięcie dotykowe spodziewane gwarantujące bezpieczeństwo ludzi przy występowaniu dodatkowych rezystancji, gdy one nie występują to $U_{STp} = U_{Tp}$, w [V],
- U_{Tp} - największe dopuszczalne napięcie dotykowe rażeniowe, w [V],
- Z_B - impedancja ciała człowieka, w [Ω],
- I_B - prąd rażeniowy, w [A],
- R_a - dodatkowe rezystancje, w [Ω],
- R_{a1} - rezystancja obuwia, w [Ω],
- R_{a2} - rezystancja stanowiska, w [Ω].

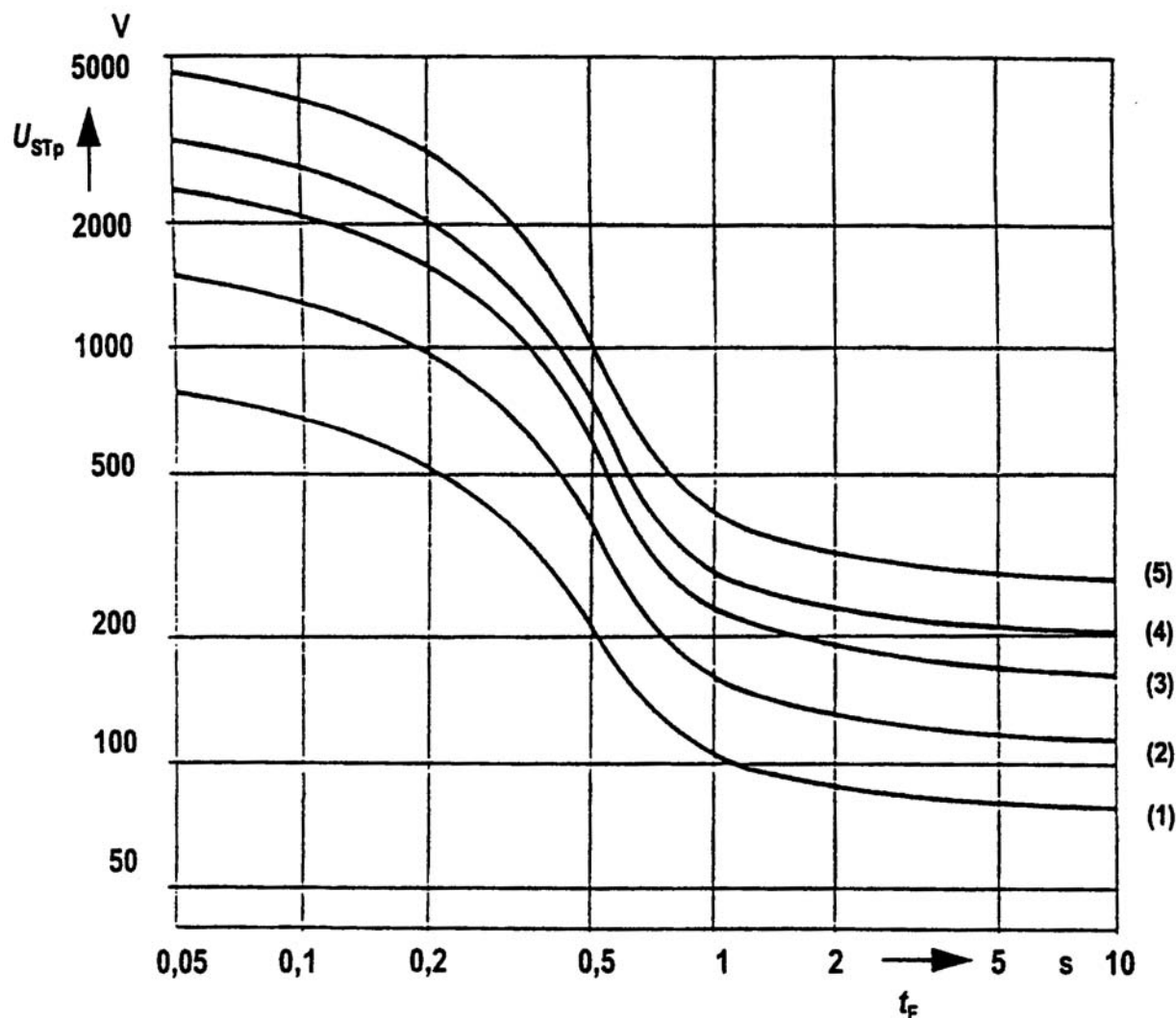
Wartość impedancja ciała człowieka w zależności od napięć dotykowych rażeniowych dla drogi przepływu prądu ręka-ręka lub ręka-stopa jest podana w tabl. 5.4. Największe dopuszczalne napięcie dotykowe spodziewane gwarantujące bezpieczeństwo ludzi przy występowaniu dodatkowych rezystancji można wyznaczyć z zależności:

$$U_{STp}(t_F) = U_{Tp}(t_F) \cdot \left[1 + \frac{R_{a1} + R_{a2}}{Z_B(t_F)} \right] \quad (5.2)$$

Tabl. 5.4. Całkowita impedancja ciała człowieka w zależności od napięć dotykowych rażeniowych dla drogi przepływu prądu ręka-ręka lub ręka-stopa

Napięcie rażeniowe dotykowe, w [V]	Całkowita impedancja ciała człowieka, w [Ω]
25	3250
50	2625
75	2200
100	1875
125	1625
220	1350
700	1150
1000	1050

Wartości największego dopuszczalnego napięcia dotykowego spodziewanego gwarantującego bezpieczeństwo ludzi przy występowaniu dodatkowych rezystancji można również odczytać także z rys. 5.6.



Rys. 5.6. Największe dopuszczalne napięcia dotykowe dla różnych wartości rezystancji dodatkowych w funkcji czasu trwania zwarcia, gdzie:

- 1 - bez dodatkowych rezystancji, czyli krzywa z rys. 5.4,
- 2 - $R_a = 750 \Omega$ ($R_{a1} = 750 \Omega$ $\rho_s = 500 \Omega m$)
- 3 - $R_a = 1750 \Omega$ ($R_{a1} = 1000 \Omega$ $\rho_s = 500 \Omega m$)
- 4 - $R_a = 2500 \Omega$ ($R_{a1} = 1000 \Omega$ $\rho_s = 1000 \Omega m$)
- 5 - $R_a = 4000 \Omega$ ($R_{a1} = 1000 \Omega$ $\rho_s = 2000 \Omega m$)

Uwaga:

$R_{a1} = 1000 \Omega$ odpowiada przeciętnej wartości rezystancji starego i mokrego obuwia.

Omawiany powyżej wpływ dodatkowych rezystancji może być uwzględniony albo, gdy:

jest spełniony jeden z dodatkowych warunków nazwanych warunkami typu C jak poniżej:

- C1 Rozpatrywana instalacja uziemiająca jest częścią zespolonej instalacji uziemiającej.
- C2 Napięcie uziomowe, wyznaczone na drodze pomiarowej lub obliczeń nie przekracza podwójnej wartości największego dopuszczalnego napięcia dotykowego rażeniowego podanego na rys. 5.1.

albo, gdy:

są wykonane, określone uznane środki uzupełniające M, odpowiednie do wartości napięcia uziomowego i czasu trwania zwarcia.

5.2.3.3. Środki typu M

Typy środków uzupełniających M, odpowiednie do wartości napięcia uziomowego i czasu trwania zwarcia, podane są w tabl. 5.5.

Tabl. 5.5. Zakres stosowania środków uzupełniających M pozwalających ograniczyć napięcia dotykowe rażeniowe do wartości U_{Tp} , w zależności od do wartości napięcia uziomowego i czasu trwania zwarcia

Czas doziemienia t_F	Napięcie uziomowe U_E	Na zewnętrznych ścianach i ogrodzeniach otaczających instalacje	Na terenie instalacji	
			Instalacje wewnętrzne	Instalacje napowietrzne
$t_F > 5 \text{ s}$	$U_E \leq 4 \cdot U_{Tp}$	M1 lub M2	M3	M4.1 lub M4.2
	$U_E > 4 \cdot U_{Tp}$	Sprawdzić czy $U_T \leq U_{Tp}$	M3	M4.2
$t_F \leq 5 \text{ s}$	$U_E \leq 4 \cdot U_{Tp}$	M1 lub M2	M3	M4.2
	$U_E > 4 \cdot U_{Tp}$	Sprawdzić czy $U_T \leq U_{Tp}$		

Opis właściwości środków uzupełniających M zgodnie z normą [62]:

- M1 Określone uznane środki uzupełniające na zewnątrz budynków instalacji wewnętrznych.
- M1.1 Wykonanie zewnętrznych ścian z materiałów nieprzewodzących (np. ścian murowanych lub z drewna) i unikanie metalowych uziemionych części, które można dotknąć z zewnątrz.
- M1.2 Wyrównywanie potencjałów przez zastosowanie uziomu poziomego ułożonego na głębokości najwyżej 0,5 m, na zewnątrz ściany, w odległości około 1 m od niej, i połączonego z układem uziomowym.
- M1.3 Zastosowanie izolacji stanowiska obsługi. Warstwy z materiału izolacyjnego powinny mieć odpowiednie rozmiary tak, aby nie było możliwe dotknięcie ręką uziemionych części przewodzących spoza izolowanej warstwy.

Jeżeli dotknięcie części uziemionych jest możliwe tylko z kierunku bocznego, to wystarczająca jest warstwa izolacyjna o szerokości 1,25 m.

Izolacja stanowiska obsługi uważana jest za wystarczającą w następujących przypadkach:

- warstwa tłucznia, której grubość wynosi co najmniej 100 mm,
- warstwa asfaltu na odpowiednim podłożu (np. na żwirze),
- pokrycie izolacyjne o minimalnej powierzchni 1000 mm x 1000 mm i grubości przynajmniej 2,5 mm lub środek zapewniający równoważną izolację.

- M2 Określone uznane środki uzupełniające przy zewnętrznych ogrodzeniach instalacji napowietrznych.

Jako określony uznany środek ochrony przed napięciem dotykowym rażeniowym,

które może pojawić się na zewnątrz ogrodzenia instalacji napowietrznej, może być zastosowany jeden z niżej wymienionych środków od M2.1 do M2.3; dla bramek w zewnętrznych ogrodzeniach należy rozważyć także zastosowane środki M2.4.

- 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 potencjału za pomocą połączonego z ogrodzeniem uziomu poziomego ułożonego na zewnątrz ogrodzenia w odległości około 1 m i na głębokości najwyżej 0,5 m. Alternatywnym rozwiązaniem jest połączenie ogrodzenia z uziomem stacji (patrz także M2.4).
- M2.3 Zastosowanie równocześnie izolacji stanowiska obsługi wykonanej zgodnie z opisem środka M1.3 i uziemienia ogrodzenia, albo połączenia z układem uziemiającym w sposób zgodny z wymaganiami zawartymi w opisie wymagań szczegółowych dotyczących uziemienia innych urządzeń i instalacji.
- M2.4 Jeżeli bramy w zewnętrznym ogrodzeniu są połączone z układem uziemiającym bezpośrednio lub poprzez przewody ochronne lub metalową powłoką kabla instalacji dzwonekowej itp., to na terenie przylegającym do otwartych bram należy zastosować wyrównywanie potencjałów lub izolację stanowiska według opisu środka M1.3.

Jeżeli bramy w przewodzącym ogrodzeniu połączonym z oddzielnym uziomem mają być połączone z głównym układem uziemiającym, to bramy te powinny być odizolowane od przewodzących części ogrodzenia w sposób, który zapewnia elektryczną separację na długości, co najmniej 2,5 m. Może to być zrealizowane przez zastosowanie sekcji ogrodzenia wykonanych z materiału nieprzewodzącego lub przez zastosowanie przewodzącego ogrodzenia z wstawkami izolacyjnymi na obu końcach. Należy zwrócić uwagę na zapewnienie elektrycznej separacji w przypadku pełnego otwarcia bram.

- M3 Określone uznane środki uzupełniające w instalacjach wewnętrznych.
- M3.1 Wyrównywanie potencjałów przez wykonanie w fundamentach budynków kratowego układu uziomowego (np. o przekrojach przewodów, co najmniej 50 mm² i oczkach kraty o szerokości nieprzekraczającej 10 m lub zastosowanie konstrukcyjnych siatek stalowych) i połączenie go z układem uziemiającym, co najmniej w dwóch różnych miejscach.

Jeżeli zbrojenie stalowe jest również wykorzystywane do odprowadzenia prądów doziemnych, to należy sprawdzić na drodze obliczeń jego obciążalność prądową.

Jeżeli są wykorzystywane stalowe siatki budowlane, to sąsiednie siatki powinny być wzajemnie połączone przynajmniej w jednym miejscu, a wszystkie siatki połączone razem z instalacją uziemiającą, w co najmniej w dwóch różnych 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 stanowisk obsługi z metalu (np. w postaci metalowej kraty lub płyty) i połączenie z wszystkimi częściami metalowymi, które powinny być uziemione, i które mogą być dotknięte za stanowisk obsługi.
- M3.3 Izolowanie od napięcia uziomowego stanowisk obsługi według opisu określonego uznanego środka M1.3. Metalowe części, które powinny być uziemione i które mogą być równocześnie dotknięte ze stanowisk obsługi muszą być wzajemnie połączone w celu wyrównywania ich potencjałów.

- M4 Określone uznane środki uzupełniające w instalacjach napowietrznych.

M4.1 Na stanowiskach obsługi:

Wyrównywanie potencjałów przez uziom poziomy w gruncie na głębokości około 0,2 m w odległości około 1 m od obsługiwanych urządzeń elektrycznych. Taki uziom poziomy powinien być połączony ze wszystkimi metalowymi częściami, które należy uziemić i które mogą być dotknięte ze stanowiska roboczego,

lub

wykonanie stanowisk obsługi z metalu (np. w postaci metalowej kraty lub metalowej płyty) i połączenie z metalowymi częściami, które powinny być uziemione i mogą być dotknięte ze stanowiska roboczego,

lub

izolowanie stanowiska zgodnie z opisem środka M1.3; metalowe części, które powinny być uziemione i które mogą być jednocześnie dotknięte ze stanowisk roboczych należy wzajemnie połączyć połączeniami wyrównawczymi.

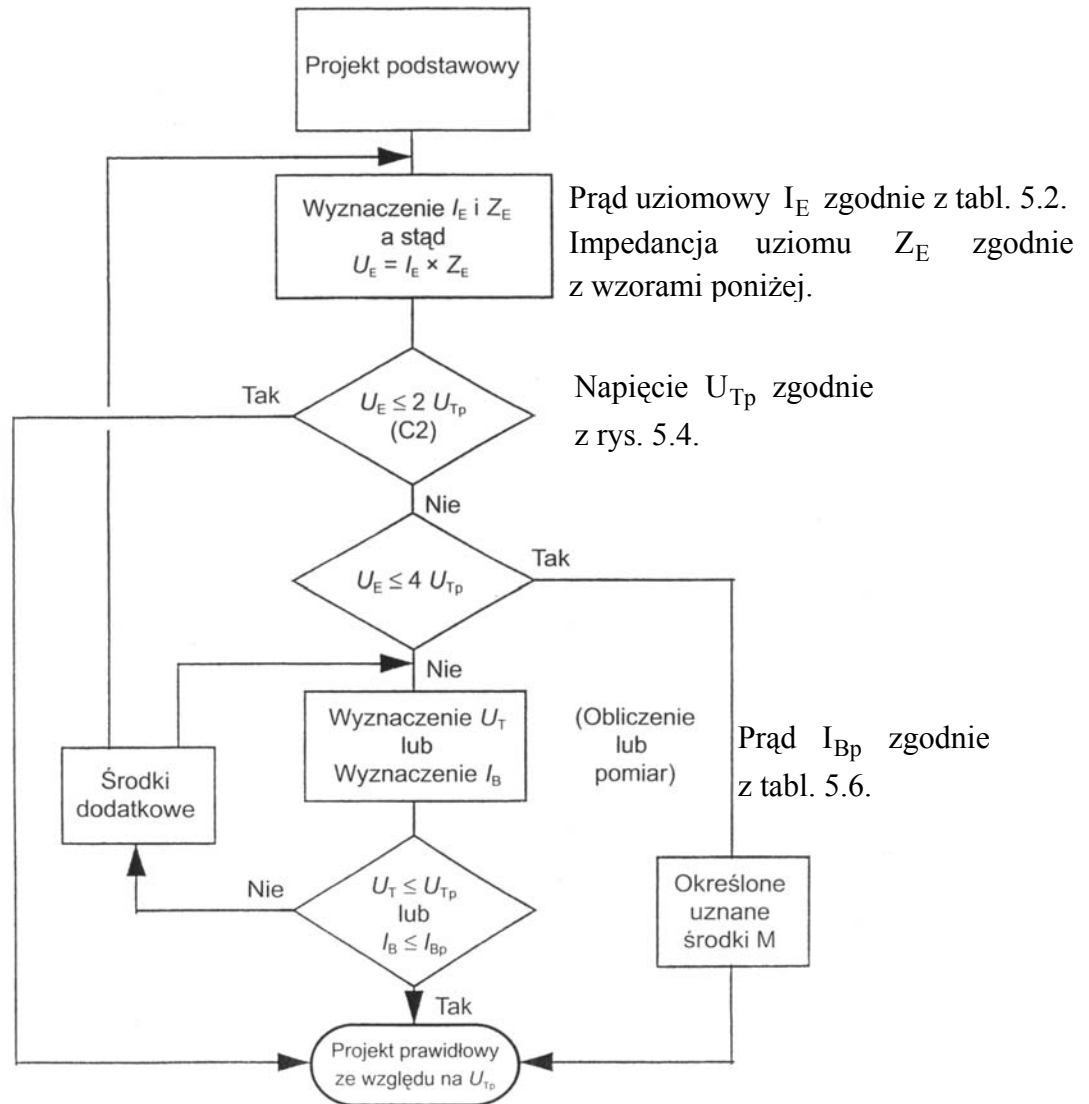
M4.2 Ułożenie na zewnątrz kratowego układu uziomowego, instalacji uziemiającej rozdzielni (stacji), zamkniętego uziomu otokowego. Wewnątrz tego zamkniętego otoku, oczka kraty układu uziomowego nie powinny mieć wymiarów większych od 10 m x 50 m. Dla pojedynczych części instalacji, zlokalizowanych na zewnątrz uziomu otokowego i które są połączone z instalacją uziemiającą rozdzielni (stacji) należy stosować uziom wyrównujący potencjały ułożony w odległości około 1 m i na głębokości około 0,2 m (np. wokół słupów oświetleniowych, które są połączone z układem uziemiającym stacji za pomocą przewodu ochronnego).

Wymagania powyższe mające ograniczyć napięcia dotykowe rażeniowe za pomocą dodatkowych zabiegów można podsumować następująco [41]:

- wykonanie uziomu wyrównawczego w postaci uziomu otokowego lub gęstej kraty ułożonej na niewielkiej głębokości pod rozpatrywanym stanowiskiem to wymagania M1.2, M2.2, M2.4, M3.1, M4.1, M4.2,
- pokrycie stanowiska warstwą izolacyjną zwiększającą impedancję obwodu rażeniowego to wymagania M1.3, M2.3, M2.4, M3.3, M4.1,
- wykonanie stanowiska przewodzącego w postaci metalowej płyty lub kraty połączonej z dostępnymi częściami przewodzącymi to wymagania M3.2, M4.1,
- zastosowanie nieprzewodzących przegród np. ścian to wymagania M1.1, M2.1,
- zastosowanie wstawek izolacyjnych dla zapobieżenia przenoszenia potencjałów to wymaganie M2.4.

5.2.3.4. Postawy projektowanie uziomu

Napięcie uziomowe U_E i napięcie dotykowe rażeniowe U_T obliczane są w oparciu o rezystancję uziomu Z_E i prąd uziomowy wyznaczony zgodnie z tabl. 5.2. Algorytm projektowania instalacji uziomowej został przedstawiony na rys. 5.7.



Rys. 5.7. Schemat blokowy algorytmu projektowania instalacji uziomowej

Tabl. 5.6. Dopuszczalne prądy rażeniowe I_{Bp} w zależności od czasu zwarcia

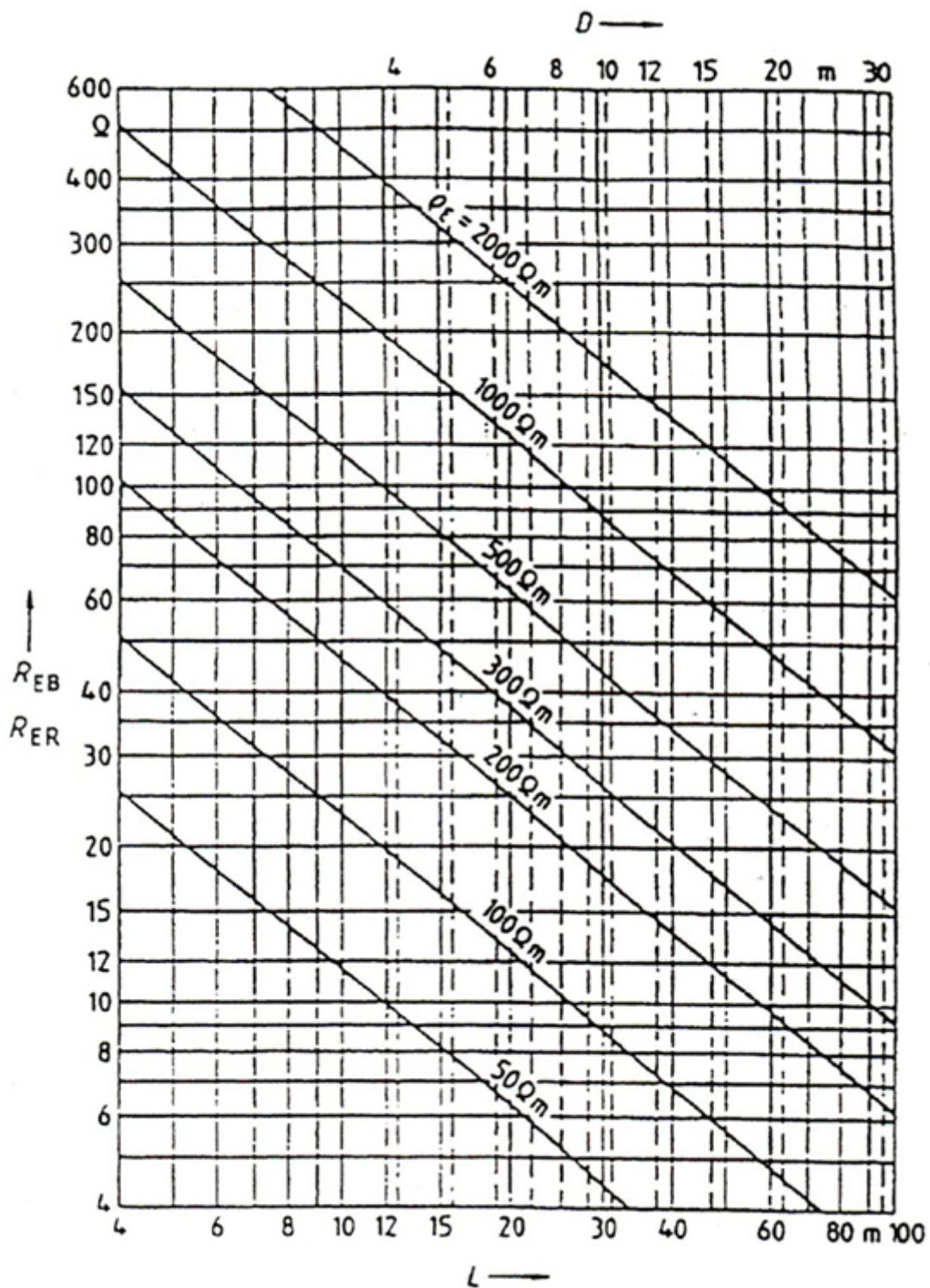
Czas doziemienia t_F , w [s]	Dopuszczalne prądy rażeniowe I_{Bp} , [mA]
0,05	900
0,1	750
0,2	600
0,5	200
1	80
2	60
5	51
10	50

Rezystywność gruntu ρ_e zmienia się wraz ze zmianą typu gruntu, jego ziarnistości, gęstości i wilgotności. Należy zwrócić uwagę, że rezystywność gruntu może się zmieniać wraz z głębokością, w wyniku występowania warstw gruntu wyraźnie różniących się budową geologiczną. Typowe wartości rezystywności gruntów zestawione są w tabl. 5.7.

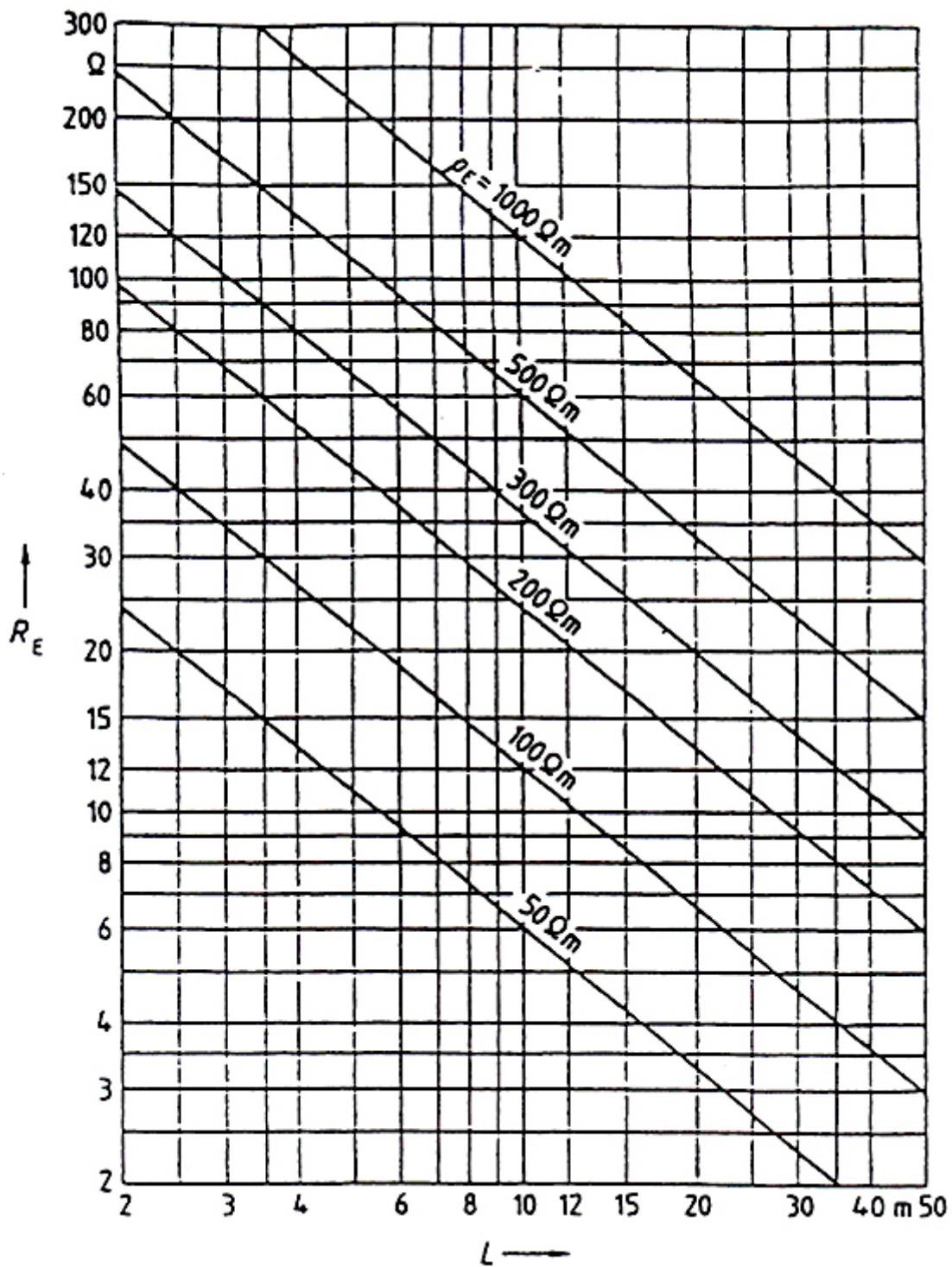
Tabl. 5.7. Rezystywności typowych gruntów

Typ gruntu	Rezystywność gruntu ρ_E [Ωm]
Grunt bagnisty	od 5 do 40
Glinka, glina, humus	od 20 do 200
Piasek	od 200 do 2500
Żwir	od 2000 do 3000
Zwierzka skała	Zwykle poniżej 1000
Piaskowiec	od 2000 do 3000
Granit	aż do 50000
Morena	aż do 30000

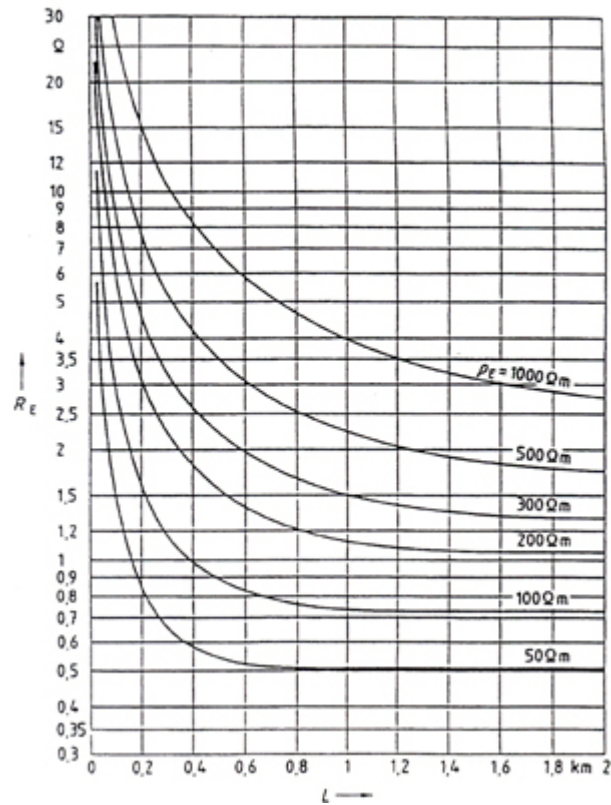
Wartość rezystancji uziomu poziomego ułożonego wzdłuż linii prostej lub w postaci otoku może być oszacowana z nomogramu przedstawionym na rys. 5.8 zaś rezystancja uziomu pionowego odczytamy z nomogramu przedstawionego na rys. 5.9. Dodatkowo na rys. 5.10 został przedstawiony nomogram do wyznaczania rezystancji uziomu kablowego (wykorzystanie zewnętrznej powłoki kabla).



Rys. 5.8. Nomogram do oszacowania rezystancji uziemienia poziomego i otokowego



Rys. 5.9. Nomogram do wyznaczania rezystancji uziomu pionowego



Rys. 5.10. Nomogram do wyznaczania rezystancji uziomu kablowego

Podstawowym parametrem charakteryzującym układ uziomowy jest jego rezystancja. Rezystancja uziomu kratowego w przybliżeniu obliczana z zależności:

$$R_E = \frac{\rho_e}{2 \cdot D} \quad (5.3)$$

gdzie:

- D - średnica okręgu o tej samej powierzchni, jaką zajmuje uziom kratowy.

W przypadku uziomu poziomego jego rezystancja może być obliczona ze wzoru:

$$R_{EB} = \frac{\rho_e}{\pi \cdot L} \cdot \ln\left(\frac{2 \cdot L}{d}\right) \quad (5.4)$$

gdzie:

- L - długość uziomu poziomego, w [m],
- d - średnica uziomu wykonanego z liny lub połowa szerokości uziomu wykonanego z taśmy, w [m],
- ρ_E - rezystywność gruntu, w [Ωm].

Dla uziomu otokowego rezystywność wynosi:

$$R_{ER} = \frac{\rho_e}{\pi^2 \cdot D} \cdot \ln\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot D}{d}\right) \quad (5.5)$$

gdzie:

- D - średnica (zastępcza) uziomu otokowego w [m],
- d - średnica uziomu wykonanego z liny lub połowa szerokości uziomu wykonanego z taśmy w [m],
- ρ_e - rezystywność gruntu, w [Ωm].

Wartość rezystancji dla uziemienia pionowego wynosi:

$$R_E = \frac{\rho_e}{2 \cdot \pi \cdot L} \cdot \ln\left(\frac{4 \cdot L}{d}\right) \quad (5.6)$$

gdzie:

- L - długość uziomu pionowego, w [m],
- D - średnica uziomu, w [m],
- ρ_e - rezystywność gruntu, w [Ωm].

5.3. WYKONANIE UZIOMÓW I PRZEWODÓW UZIEMIAJĄCYCH

5.3.1. Uziomy

W skład instalacji uziomowej zwykle wchodzi wiele pojedynczych uziomów poziomych, pionowych lub ukośnych, ułożonych w wykopach lub pograżonych mechanicznie w gruncie. Nie zaleca się stosowania środków chemicznych zmniejszających rezystywność gruntu. Uziomy poziome powinny być zwykle zakopane na głębokości od 0,5 m do 1 m poniżej powierzchni gruntu. Zaleca się, aby taki uziom był układany poniżej granicy zamarzania gruntu. Zaleca się także, aby:

- uziom był otoczony lekko ubitym gruntem,
- uziom nie stykał się bezpośrednio z kamieniami i żwirem,
- grunt rodzimy, agresywny w stosunku do zastosowanego metalu uziomu, był zastąpiony odpowiednią zasypką.

W przypadku uziomów pionowych, ich górny koniec powinien znajdować się poniżej powierzchni ziemi. Zastosowanie uziomów pionowych lub ukośnych jest szczególnie korzystne, gdy rezystywność gruntu zmniejsza się wraz z głębokością. Uziomy pionowe i ukośne pograżone w gruncie w sposób mechaniczny, zaleca się rozstawiać na odległość nie mniejszą niż ich długość.

Metalowe konstrukcje uziemiane zgodnie z normą [62], które stanowią jednostki konstrukcyjne, mogą być wykorzystywane jako przewody uziemające dla części, które są do tych konstrukcji bezpośrednio przymocowane. Wymaga się przy tym, aby cała konstrukcja miała wystarczający przekrój poprzeczny, a ich złącza wystarczającą przewodność i wytrzymałość mechaniczną. Należy przewidzieć środki zabezpieczające przed odłączeniem części uziemionej od układu uziemającego w przypadku chwilowego demontażu konstrukcji. Duże konstrukcje metalowe należy łączyć z układem uziemającym w wystarczającej liczbie miejsc.

Wzajemne połączenia przewodzących elementów uziomu kratowego powinny mieć przewodność elektryczną oraz wytrzymałość mechaniczną i termiczną taką samą, jaką mają łączone elementy. Złącza zastosowane do łączenia uziomów pionowych, powinny mieć wytrzymałość mechaniczną taką samą, jaką mają łączone uziomy i powinny wytrzymać narażenia powstające

podczas pograżania uziomu. Uziomy powinny być odporne na korozję i nie powinny przyczyniać się do powstawania ogniów galwanicznych.

5.3.2. Przewody uziemiające

Trasa ułożenia przewodów uziemiających powinna być możliwie jak najkrótsza. Rozróżnia się następujące metody instalowania przewodów uziemiających:

- przewody uziemiające zakopane w ziemi, może być wymagana ochrona przed uszkodzeniami mechanicznymi,
- przewody uziemiające dostępne:
 - ◆ przewody uziemiające powinny być instalowane powyżej powierzchni gruntu z zachowaniem dostępności,
 - ◆ jeżeli występuje ryzyko uszkodzenia mechanicznego należy je odpowiednio chronić przed takimi narażeniami,
- przewody uziemiające umieszczone w betonie powinien być zapewniony łatwy dostęp do zacisków łączących.

Połączenia przewodów uziemiających powinny mieć dobrą przewodność elektryczną tak, aby prąd doziemny nie powodował niedopuszczalnego wzrostu temperatury. W pewnych przypadkach celowe może być montowanie w przewodach uziemiających złącza probierczego (kontrolnego). Połączenia przewodów uziemiających powinny być wykonane tak, aby niemożliwe było ich rozłączenie bez użycia specjalnych narzędzi.

5.4. WYMAGANIA DODATKOWE DOTYCZĄCE UZIEMIENIA URZĄDZEŃ I INSTALACJI

5.4.1. Zewnętrzne ogrodzenia stacji

Metalowe, nieizolowane ogrodzenia stacji powinny być wielokrotnie uziemione, np. na każdym narożniku. W zależności od warunków miejscowych (ogrodzenie wewnątrz lub na zewnątrz układu uziomowego) ogrodzenie zaleca się łączyć z instalacją uziemiającą lub z uziomami oddzielnymi. Uziomy wyrównawcze w postaci bednarki ułożonej na niewielkiej głębokości wzdłuż przewodzącego ogrodzenia stacji powinno być z zasady wykonane na zewnątrz ogrodzenia jako oddzielne od instalacji uziemiającej stacji. W przypadku częstego przebywania ludzi od strony wewnętrznej ogrodzenia może okazać się celowe wykonanie uziemienia wyrównawczego ogrodzenia również i od strony wewnętrznych. Połączenie uziemienia wyrównawczego przewodzącego ogrodzenia stacji z instalacją uziemiającą stacji jest celowe tylko w tych przypadkach, w których ogrodzenie stacji znajduje się na terenie zajmowanym przez uziom stacyjny.

Nie jest konieczne, aby części metalowe ogrodzenia pokryte materiałem izolacyjnym były uziemione. Wszystkie fizyczne przerwy w ogrodzeniu stacji, np. bramy powinny być zmostkowane tak, aby między częściami ogrodzenia nie powstały niebezpieczne różnice potencjałów.

5.4.2. Rurociągi

Metalowe rurociągi znajdujące się na terenie stacji zaleca się łączyć z instalacją uziemiającą. Zaleca się unikać stosowania metalowych rurociągów wprowadzanych na teren stacji spoza stacji, (np. wewnątrz stacji) zaleca się stosować rury wodociągowe nie metalowe, jeśli jest to możliwe. Wyprowadzenie z terenu stacji metalowych rur wodociągowych grozi wyniesieniem napięcia uziomowego stacji poza jej teren a także przeniesienie części tego napięcia na metalowe ogrodzenie stacji przez sprzężenie konduktancyjne.

5.4.3. Tory kolejowe

Tory kolejowe trakcji nieelektrycznej, prowadzone przez teren stacji, powinny być połączone z układem uziemiającym stacji. W torach znajdujących się na granicy stacji powinny być umieszczone wstawki izolacyjne separujące elektrycznie uziom stacyjny od zewnętrznej sieci trakcyjnej. W niektórych przypadkach mogą być wymagane dwie wstawki izolacyjne, aby uniknąć zwierania wyżej wymienionych części przez pojazd trakcyjny. Szczególną uwagę należy zwrócić na stanowiska kierowania ruchem kolejowym. Zastosowane na tych stanowiskach środki ochrony powinny spełniać wymagania zawarte w punkcie 5.4 oraz powinny być uzgodnione z właścicielem sieci trakcyjnej.

5.4.4. Słupowe stacje transformatorowe

Z reguły wszystkie słupy, na których zamontowano transformatory z aparaturą łączeniową lub bez niej powinny być uziemione. W przypadku, w którym na słupie zamontowany jest jedynie transformator wystarczy zastosować prosty uziom spełniający wymagania stawiane uziemieniu (np. uziom pionowy lub otokowy lub fundamentowy przewodzącego słupa). Urządzenia łączeniowe zamontowane na słupach stalowych lub wykonanych z innego materiału przewodzącego lub z betonu zbrojonego w zasadzie powinny być uziemione. Uziemienie to powinno być wykonane w celu wyrównania potencjału, co najmniej w postaci kratki uziemiającej na stanowisku obsługi. Natomiast, gdy stosowane jest pokrycie izolacyjne stanowiska obsługi lub, gdy operacje łączeniowe są wykonane za pomocą sprzętu izolacyjnego (np. narzędzi izolacyjnych, mat izolacyjnych lub rękawic izolacyjnych) wystarczy zastosować prosty uziom (np. uziom pionowy lub otokowy). Urządzenia łączeniowe montowane na słupach wykonanych z materiałów nieprzewodzących nie wymagają uziemienia. W przypadku, gdy nie są one uziemione, konieczne jest zastosowanie w napędach łączników, mechanicznie pewnych izolatorów (np. niepękających izolatorów pniowych). Powinny one być dobrane do napięcia nominalnego sieci. Część napędu, która może być dotknięta z ziemi, powinna być uziemiona w celu odprowadzenia prądów upływowych. Wystarczy zastosować uziom pionowy o długości około 1 m lub uziom otokowy ułożony w odległości około 1 m od słupa. Uziomy i przewody uziemiające powinny mieć minimalny przekrój poprzeczny podany w rozdziale 5.2.

5.4.5. Obwody wtórne przekładników

Obwody wtórne wszystkich przekładników powinny być uziemione możliwie jak najbliżej ich zacisków wtórnych. Nie jest wymagane, aby przekrój poprzeczny przewodów uziemiających był dobrany według wymagań zawartych w rozdziale 5.2. Przewody miedziane chronione od uszkodzeń mechanicznych powinny mieć przekrój nie mniejszy niż $2,5 \text{ mm}^2$, a przewody niechronione od uszkodzeń mechanicznych - przekrój nie mniejszy niż 4 mm^2 . Jeżeli jednak konieczne jest uziemienie obwodu wtórnego przekładników w innych punktach, to należy je wykonać tak, aby nie było możliwe nieumyślne odłączenie tych uziemień.

5.5. POTENCJAŁY PRZENOSZONE

Wszystkie części przewodzące połączone z instalacją uziemiającą i wychodzące poza jej teren, mogą powodować przenoszenie się napięcia uziomowego wywołanego doziemieniem poza teren instalacji uziemiającej i przenoszenie potencjału ziemi odniesienia na teren stacji. Przenoszone potencjały mogą stwarzać zagrożenie porażeniowe na terenie stacji, gdy na teren stacji jest przenoszony potencjał ziemi odniesienia a część przenosząca ten potencjał nie jest połączona z

uziomem stacji. Przenoszone potencjały mogą stwarzać zagrożenie porażeniowe poza terenem stacji, gdy potencjał uziomu jest przenoszony poza stację a stanowiska, na których stoi osoba dotykająca część z napięciem przenoszonym, ma potencjał ziemi odniesienia. Potencjały przenoszone mogą stwarzać także zagrożenie dla izolacji np. kabli.

Norma [62] nie zawiera przepisów dotyczących systemów telekomunikacyjnych znajdujących się na terenie lub w pobliżu instalacji uziemiających. Rozważając potencjały przenoszone do systemów telekomunikacyjnych należy brać pod uwagę przepisy międzynarodowe np. dyrektywy ITU.

Podczas doziemienia na ekranach lub pancerzach kabli mogą pojawić się znaczne napięcia. Ich wartości zależą od sposobu uziemienia ekranu lub pancerza kabla, na jednym lub na obu końcach. Uziemienie ekranu lub pancerza kabla tylko na jednym końcu może być wykonane wewnątrz lub na zewnątrz stacji. Środkami zaradczymi mogą być:

- przerwanie ciągłości części metalowych w miejscu przekraczania granicy terenu zajętego przez instalację uziemiającą,
- izolowanie części przewodzących lub terenów,
- wykonanie przegród (np. ogrodzenia) dookoła części przewodzących lub terenów, na których może powstać zagrożenie, uniemożliwiających dotknięcie tych części,
- wykonanie izolowanych przegród oddzielających części przyłączone do różnych instalacji uziemiających,
- odpowiednie wysterowanie rozkładu potencjału,
- ograniczenie tych napięć przez zastosowanie odpowiednich urządzeń.

W sytuacji, gdy układ uziomowy wchodzi w skład zespolonej instalacji uziemiającej na terenie, gdzie nie należy spodziewać się powstania niebezpiecznych różnic potencjałów, mogą powstać problemy, gdy przewodzące części izolowanych rur, kabli itd., połączone z ziemią odniesienia oraz uziemione części przewodzące stacji będą równocześnie dostępne. Dlatego konieczne jest, aby tego rodzaju przewodzące części były umieszczane w odpowiedniej odległości od obszaru oddziaływania uziomów. Gdy to nie jest możliwe powinny być zastosowane odpowiednie środki. Nie jest możliwe podanie jednej ogólnie obowiązującej odległości. Dla każdego indywidualnego przypadku stopień zagrożenia powinien być wyznaczony osobno. Pewne wskazówki podano w rozdziale 5.2.3.

5.6. WSPÓLNE INSTALACJE UZIEMIAJĄCE DLA URZĄDZEŃ WYSOKIEGO I NISKIEGO NAPIĘCIA

5.6.1. Warunki wykonania wspólnej instalacji uziemiającej

Wspólna instalacja uziemiająca dla urządzeń wysokiego i niskiego napięcia przynosi korzyści w postaci:

- obniżenia kosztów budowy,
- zmniejszenia powierzchni terenu niezbędnego pod budowę uziomów.

Wspólna instalacja uziemiająca dla urządzeń wysokiego i niskiego napięcia, w tym uziemienia punktu neutralnego sieci niskiego napięcia, może stwarzać następujące zagrożenia:

- dla izolacji urządzeń i instalacji niskiego napięcia,
- porażeniowe w sieci niskiego napięcia.

Punkt neutralny sieci niskiego napięcia lub przewody PEN mogą być połączone z instalacją uziemiającą wysokiego napięcia, jeżeli podczas doziemień w urządzeniach wysokiego napięcia zostaną spełnione następujące warunki:

- W sieci niskiego napięcia lub w zasilanych z tej sieci instalacjach odbiorczych nie pojawiają się niebezpieczne napięcia dotykowe rażeniowe. Warunki te będą spełnione, jeżeli napięcie

uziomowe wspólnego układu uziemiającego nie przekroczy wartości podanych w tabl. 5.8 zgodnej z normą [62], ale także z wartościami zagrożenia porażeniowego zgodnie z normą [112], która podaje inne wartości.

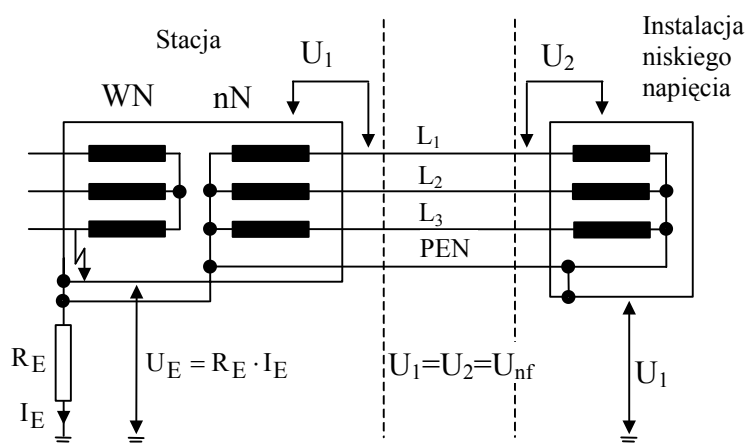
- Wartości przepięcia o częstotliwości sieciowej powstającego w urządzeniach niskiego napięcia nie przekroczy wartości wynikającej z napięcia uziomowego, do którego przyłączony jest punkt neutralny sieci niskiego napięcia podanej w tabl. 5.8.

Tabl. 5.8. Wymagania stawiane wspólnym instalacjom uziemiającym urządzeń wysokiego i niskiego napięcia w przypadku zasilania urządzeń niskiego napięcia znajdujących się na zewnątrz instalacji uziemiającej wysokiego napięcia

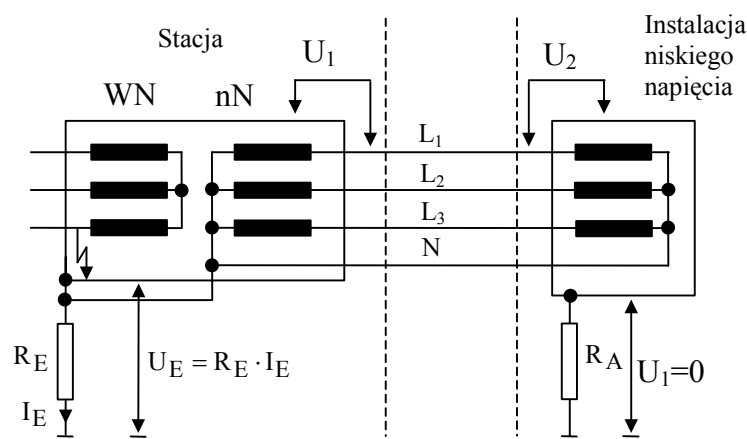
Typ układu sieci niskiego napięcia ¹⁾	Czas doziemienia	Wymagania stawiane wspólnej instalacji uziemiającej ze względu na ²⁾³⁾	
		Bezpieczeństwo rażeniowe (napięcie dotykowe rażeniowe)	Wytrzymałość izolacji na przepięcia
TT ⁴⁾	$t_F \leq 5 \text{ s}$	Nie dotyczy	$U_E \leq 1200 \text{ V}$
	$t_F > 5 \text{ s}$		$U_E \leq 250 \text{ V}$
TN ⁵⁾	-	$U_E \leq U_{Tp}$ ⁶⁾	Nie dotyczy
		$U_E \leq X \cdot U_{Tp}$ ⁷⁾	

Zwykle X wynosi 2. Doświadczenie wskazuje, że w specjalnych przypadkach można dopuścić zwiększenie wartości X do 5.

- ¹⁾ Definicje typów sieci niskiego napięcia są podane w HD 384.3. Układy IT z przewodami ochronnymi niskiego napięcia połączonymi z instalacją uziemiającą wysokiego napięcia są tutaj rozpatrywane, ponieważ są one zwykle stosowane w zakładach przemysłowych. Inne układy IT nie są rozpatrywane.
- ²⁾ U_E jest napięciem uziomowym wspólnego układu uziomowego. Może być ono obliczone w sposób opisane w rozdziale 5.2.3.
- ³⁾ Konieczne jest wzięcie pod uwagę, że na napięcie uziomowe wpływają potencjały przeniesione, np. przez pancerze kabli przyłączonych do instalacji uziemiających sąsiednich stacji.
- ⁴⁾ Należy rozpatrzyć wytrzymałość materiałów, z których wykonane są urządzenia niskiego napięcia w oparciu o HD 384.4.442.
- ⁵⁾ Należy rozpatrzyć możliwość powstania niebezpiecznych napięć dotykowych rażeniowych.
- ⁶⁾ Połączenie przewodu PEN lub sieci niskiego napięcia z układem uziomowym wysokiego napięcia jest wykonane tylko na terenie stacji transformatorowej.
- ⁷⁾ Przewód PEN sieci niskiego napięcia jest uziemiony w wielu punktach w celu wpływania na wartość napięcia punktu neutralnego w warunkach zakłóceń.



Rys. 5.11. Zwarcie po stronie wysokiego napięcia w stacji ze wspólną instalacją uziemiającą stacji zasilającej i punktu neutralnego sieci niskiego napięcia pracującej w układzie TN.



Rys. 5.12. Zwarcie po stronie wysokiego napięcia w stacji ze wspólną instalacją uziemiającą stacji zasilającej i punktu neutralnego sieci niskiego napięcia pracującej w układzie TT.

Skutki wspólnej instalacji uziemiającej dla urządzeń wysokiego i niskiego napięcia zostały pokazane na rys. 5.11 oraz rys. 5.12.

Zwarcie po stronie wysokiego napięcia w stacji ze wspólną instalacją uziemiającą stacji zasilającej i punktu neutralnego sieci niskiego napięcia pracującej w układzie TN (rys. 5.11) powoduje, że:

- Części przewodzące na terenie stacji i u odbiorcy wzrosną o napięcie uziomowe. W rzeczywistości sytuacja będzie korzystniejsza ze względu na dodatkowe uziemienia przewodu neutralno-ochronnego PEN.
- Izolacja urządzeń niskiego napięcia nie zmienia się.

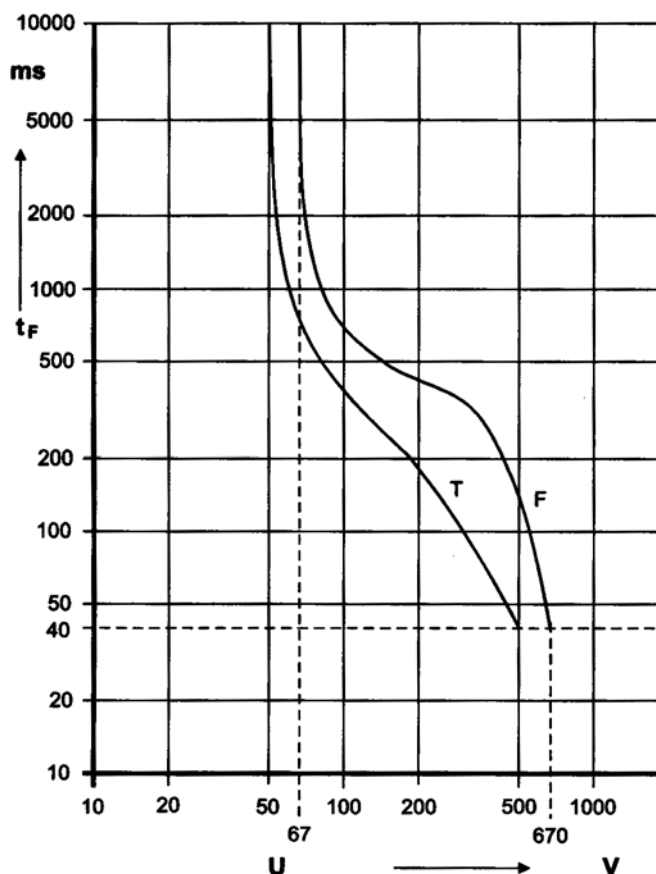
Zwarcie po stronie wysokiego napięcia w stacji ze wspólną instalacją uziemiającą stacji zasilającej i punktu neutralnego sieci niskiego napięcia pracującej w układzie TT (rys. 5.12) nie powoduje:

- występowania zagrożenia porażeniowego przy urządzeniach niskiego napięcia u odbiorców,
- powoduje zagrożenia dla izolacji stacyjnych urządzeń niskiego napięcia.

Zwarcie to powoduje wzrost napięcia działającego na izolację urządzeń u odbiorców, napięcie to wtedy wynosi:

$$U_2 = U_0 + U_E \quad (5.7)$$

Norma PN-E-05115: 2002 Instalacje elektroenergetyczne prądu przemiennego o napięciu wyższym od 1 kV podaje dopuszczalne wartości zamieszczone w tabl. 5.8. Norma PN-IEC 60364-4-442:1999. Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Ochrona instalacji niskiego napięcia przed przejściowymi przepięciami i uszkodzeniami przy doziemieniach w sieciach wysokiego napięcia podaje największe dopuszczalne napięcia zakłócenia w funkcji czasu trwania doziemienia. Zależność tą podano na rys. 5.13 i w tabl. 5.9.



Rys. 5.13. Zależność największych dopuszczalnych napięć zakłóceń (krzywa F) oraz napięć dotykowych (krzywa T) w instalacjach niskiego napięcia spowodowanych doziemieniem w instalacji wysokiego napięcia w funkcji czasu trwania doziemienia zgodnie z normą [112]

Tabl. 5.9. Największe dopuszczalne napięcia zakłóceń U_F (krzywa F) w zależności od czasu trwania doziemienia

Czas trwania doziemienia, w [s]	Napięcie U_F , w [V]
≥ 10	67
5	68
3	70
2	78
1	92
0,9	94
0,8	98
0,7	105
0,6	115
0,5	135
0,4	205
0,3	352
0,2	450
0,15	490
0,1	570
0,05	650
0,04	670

Zakładając, że prąd doziemny wynosi $I''_{k1} = 250$ A i czas trwania doziemienia $t_F = 1$ s w tabl. 5.10 podano największych wartości napięć uziomowych i rezystancji uziomu stacyjnego, przy których nie wystąpi zagrożenie porażeniowe w instalacjach odbiorczych otrzymane dla wybranego przykładu za pomocą normy [62] oraz normy [112].

Tabl. 5.10. Porównanie największych napięć uziomowych i rezystancji uziomu stacyjnego, przy których nie wystąpi zagrożenie porażeniowe w instalacjach odbiorczych otrzymane dla wybranego przykładu za pomocą normy [62] oraz normy [112] (podano za [41])

Numer normy	Kryterium, jakie powinno spełniać napięcie uziomowe U_E	$U_{E_{max}}$, w [V]	$R_{E_{max}}$, w [Ω]
PN-E-05115	$U_E \leq 2 \cdot U_{Tp}$	$U_E \leq 2 \cdot 105 = 210$ V	$R_E \leq 0,87 \Omega$
PN-IEC 60364-4-442	$U_E \leq U_F$	$U_E \leq 90$ V	$R_E \leq 0,36 \Omega$

Ukazane różnice świadczą o różnych założeniach przyjętych w obu normach. Z tego porównania wynika, że w instalacjach odbiorczych należy stosować PN-IEC 60364-4-442 albowiem otrzymujemy wtedy ostrzejsze warunki dla instalacji uziemiającej.

5.6.2. Zasilanie urządzeń niskiego napięcia znajdujących się na terenie instalacji uziemiającej wysokiego napięcia

W sytuacji, gdy występuje zasilanie urządzeń niskiego napięcia znajdujących się na terenie instalacji uziemiającej wysokiego napięcia to wszystkie uziemienia ochronne i robocze powinny tworzyć wspólną instalacją uziemiającą spełniającą wymagania opisane w rozdziale 5.5.1.

5.6.3. Zasilanie instalacji niskiego napięcia znajdujących się poza terenem instalacji uziemiającej wysokiego napięcia

Warunki wykonania wspólnej instalacji uziemiającej podane w rozdziale 5.5.1 można uważać za spełnione, jeżeli:

- instalacja uziemiająca rozważanej stacji wysokiego napięcia jest połączona z zespoloną instalacją uziemiającą,

lub, jeżeli

- spełnione są warunki podane w tabl. 5.8.

W normie PN-IEC 60364-4-442 [112] podano także warunki połączenia punktu neutralnego sieci niskiego napięcia z uziomem stacji zasilającej. We wspomnianej normie dopuszcza się możliwość połączenia punktu neutralnego sieci niskiego napięcia z uziomem stacji zasilającej, jeżeli będzie spełniony jeden z trzech poniższych warunków:

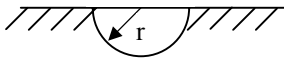
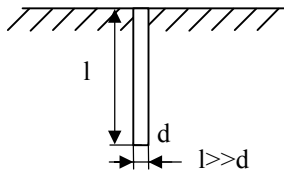
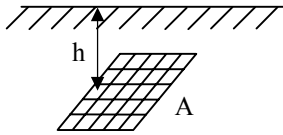
- do stacji są przyłączone kable wysokiego lub niskiego napięcia z odpowiednio uziemionymi osłonami o długości co najmniej 1 km,
- rezystancja uziemienia stacji jest mniejsza od 1 Ω ,
- napięcie uziomowe spełnia warunek omówiony w rozdziale 5.5.1:

$$U_E \leq U_F \quad (5.7)$$

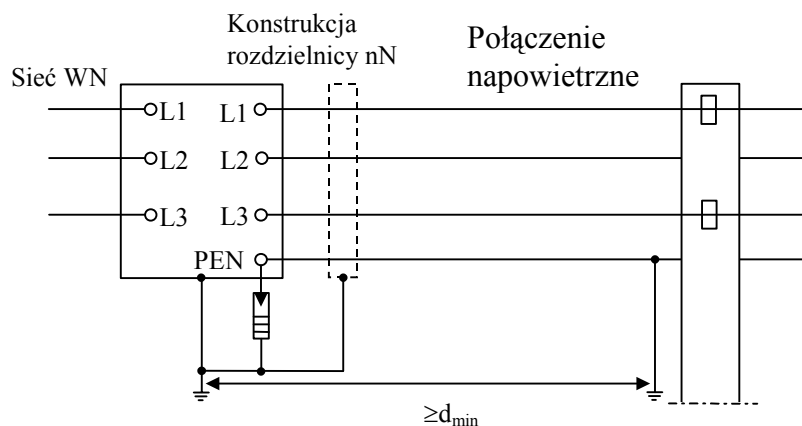
5.6.4. Oddzielne instalacje uziemiające

Instalacje uziemiające wysokiego i niskiego napięcia powinny być wykonywane jako oddzielne tylko, gdy nie mogą być instalacjami wspólnymi. Oddzielenie uziomów powinno być wykonane tak, aby w urządzeniach niskiego napięcia nie mogło wystąpić zagrożenie porażeniowe, tzn. napięcie uziomowe urządzeń niskiego napięcia wywołane doziemieniem w sieci wysokiego napięcia powinno być mniejsze od wartości podanych w tabl. 5.8. Dla stacji wysokiego napięcia o napięciu znamionowym mniejszym, niż 50 kV ostrożną wartością minimalnej odległości między uziomami jest 20 m, Ta minimalna odległość d_{\min} (w normie [62] oznaczana jako d_{accept}) może być wyliczona projektując uziom. Pewne informacje można dla prostych uziomów można odczytać z tabl. 5.11.

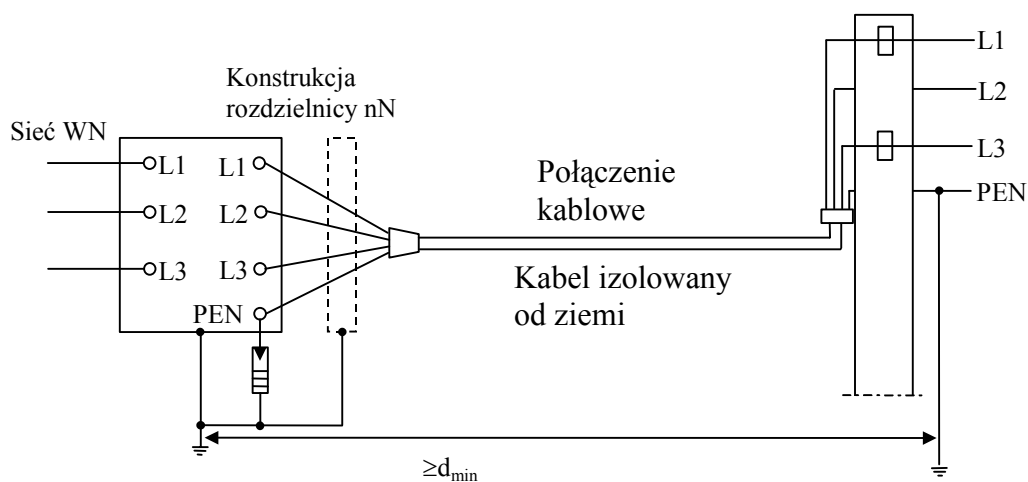
Tabl. 5.11. Przybliżone wartości minimalnej odległości dla wybranych uziomów

Uziom ¹⁾	półkulisty	pionowy	kratowy
Konfiguracja			
Odległość d_{\min}	$d_{\min} = r \cdot \left(\frac{U_E}{U_{\text{accept}}} - 1 \right)$	$d_{\min} = 2 \cdot l \cdot \frac{c}{c^2 - 1}$ $c = \left(\frac{4 \cdot l}{d} \right) \frac{U_{\text{accept}}}{U_E}$	$d_{\min} = \sqrt{\frac{A}{\pi}} \cdot \left(\frac{1}{\sin \frac{\pi \cdot U_{\text{accept}}}{2 \cdot U_E}} - 1 \right)$
U_{accept}	Największe dopuszczalne wartości potencjałów na powierzchni gruntu w odległości d_{\min} , np. wartość z rys. 5.1 lub tabl. 5.8. Wartość napięcia U_{accept} jest mniejsza od napięcia uziomowego U_E .		
¹⁾	Dla uziomu otokowego i poziomego wzory w opracowaniu.		

W przypadku, gdy uziom niskiego napięcia znajduje się w odległości mniejszej od d_{\min} to konieczne jest zastosowanie środków specjalnych. Oddzielne instalacje uziemiające mogą być połączone na terenie stacji ogranicznikiem przepięć zapewniającym ochronę odgromową. Napięcie gaszenia tego ogranicznika przepięć, lub trwale napięcie pracy tlenkowego, beziskiernikowego ogranicznika przepięć, powinno być większe od napięcia uziomowego układu uziemiającego wysokiego napięcia. Na rys. 5.14 i rys. 5.15 pokazano przykłady rozwiązania oddzielnego uziemienia punktu neutralnego sieci niskiego napięcia pracującej w układzie TN w stacji, w której sieć niskiego napięcia jest zasilana linią napowietrzną lub kablową. W tych przypadkach punkt neutralny transformatora nie jest uziemiony do uziomu stacji wysokiego napięcia a jedynie połączony z przewodem PEN.



Rys. 5.14. Przykład rozwiązania oddzielnego uziemienia punktu neutralnego sieci niskiego napięcia w układzie TN w stacji, w której sieć niskiego napięcia jest zasilana linią napowietrzną [41]



Rys. 5.15. Przykład rozwiązania oddzielnego uziemienia punktu neutralnego sieci niskiego napięcia w układzie TN w stacji, w której sieć niskiego napięcia jest zasilana linią kablową [41]

Na dwóch powyższych rysunkach pokazano umieszczenie ogranicznika przepięć a także zaznaczono połączenie konstrukcji rozdzielnic niskiego napięcia do uziomu stacji wysokiego napięcia. To połączenie zapewnia ochronę przed dotykiem pośrednim, części przewodzących dostępnych urządzeń niskiego napięcia, znajdujących się na terenie stacji wysokiego napięcia.

Jeżeli układy uziemiające wysokiego i niskiego napięcia są wykonane jako oddzielne, to podczas ustalania poziomu izolacji urządzeń niskiego napięcia, znajdujących się na terenie stacji wysokiego napięcia, należy uwzględnić wartość i czas utrzymywania się napięcia uziomowego podczas doziemienia w sieci wysokiego napięcia.

6. URZĄDZENIA POMOCNICZE W STACJACH

6.1. TYPY OBCIĄŻEŃ W UKŁADACH POTRZEB WŁASNYCH

Na stacjach elektroenergetycznych, poza stacjami średnie napięcie na niskie napięcie, występują układy potrzeb własnych w postaci odrębnych fragmentów stacji. W stacjach średnie na niskie napięcie urządzenia potrzeb własnych stacji (zwykle to oświetlenie stacji i terenu wokół stacji) są zasilane bezpośrednio z rozdzielni niskiego napięcia lub z zacisków transformatora i tymi stacjami nie będziemy się dalej zajmować. W układach potrzeb własnych większość odbiorów potrzeb własnych zasilanych jest napięciem niskim przemiennym, a ponieważ napięcie to nie występuje jako napięcie rozdzielcze to musi być ono dodatkowo wytworzone. Można wyróżnić następujące grupy odbiorników w układach potrzeb własnych:

- Oświetlenie terenu stacji i oświetlenie w budynkach.
- Urządzenia grzejne, sanitarne czy socjalne.
- Urządzenia związane z wyposażeniem stacji, w tym między innymi urządzenia:
 - ◆ napędowe układów chłodzenia transformatorów,
 - ◆ napędowe przełącznika zaczepów transformatorów,
 - ◆ napędowe łączników,
 - ◆ instalacji sprężonego powietrza jeśli taka instalacja jest potrzebna na stacji,
 - ◆ obwodów sterowniczych i zabezpieczeniowych,
 - ◆ ładowania akumulatorowni.
- Urządzenia pomocnicze np. warsztaty.

6.2. ŹRÓDŁA ZASILANIA UKŁADÓW POTRZEB WŁASNYCH

Napięcie zasilające układy potrzeb własnych stacji musi być dodatkowo wytworzone na jej terenie albowiem zgodnie z tym, co przedstawiono w rozdziale 5, niskie napięcie nie może być wprowadzone na teren stacji średniego czy wysokiego napięcia. Napięcie przemiennie zasilające układy potrzeb własnych otrzymujemy z transformatora potrzeb własnych zwanego również transformatorem uziemiającym, mającego przekładnię średnie napięcie na niskie napięcie, którego sposób zasilania jest zależny od napięć znamionowych stacji, i tak w stacjach z:

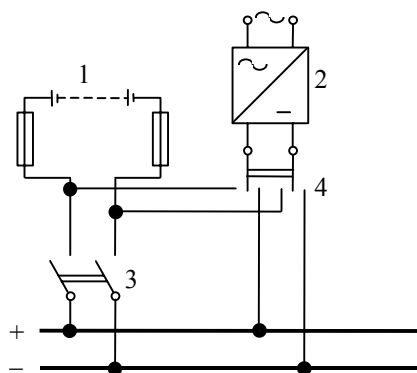
- rozdzielniami jedynie wysokiego napięcia z uzwojenia kompensacyjnego transformatora (autotransformatora), co przedstawiono na rys. 2.15a),
- rozdzielnią średniego napięcia z pola tej rozdzielni.

W dużych stacjach elektroenergetycznych są zainstalowane dwa lub nawet trzy transformatory potrzeb własnych, których rozdzielnie niskiego napięcia są dwusekcyjne z automatyką SZR.

- Do zasilania obwodów sterowniczych wykorzystuje się napięcie stałe, zazwyczaj o wartości nominalnej 220 V lub 110 V.

Napięcie takie jest wytwarzane w następujący sposób:

- z baterii akumulatorów zlokalizowanej na terenie stacji doładowywanych napięciem przemiennym potrzeb własnych stacji,
- ze źródeł obcych,
- z prostowników zasilanych z napięcia przemiennego potrzeb własnych stacji lub z innych źródeł np. przekładników prądowych czy napięciowych.



Rys. 6.1. Podstawowy układ współpracy baterii akumulatorów z prostownikami [5], układ buforowy.

Na rysunku poszczególne urządzenia oznaczono:

- 1 - bateria, 2 - prostownik,
- 3 - wyłącznik, 4 - przełącznik,
- 5 - bateria z przeciwoogniwami,
- 6 - wyłącznik do zwierania przeciwoogniw.

Stacje o napięciu nominalnym 110 kV i wyższym wyposaża się w baterie akumulatorów zlokalizowane na terenie stacji w tzw. akumulatorowniach i doładowywane napięciem przemiennym potrzeb własnych stacji. Podobne rozwiązania stosuje się w niektórych stacjach przemysłowych średniego napięcia. Pozostałe stacje nie wymagają napięcia stałego do zasilania obwodów sterowniczych. W akumulatorowniach stacji elektroenergetycznych stosuje się zazwyczaj akumulatory kwasowe albowiem w porównaniu z akumulatorami zasadowymi mają następujące zalety:

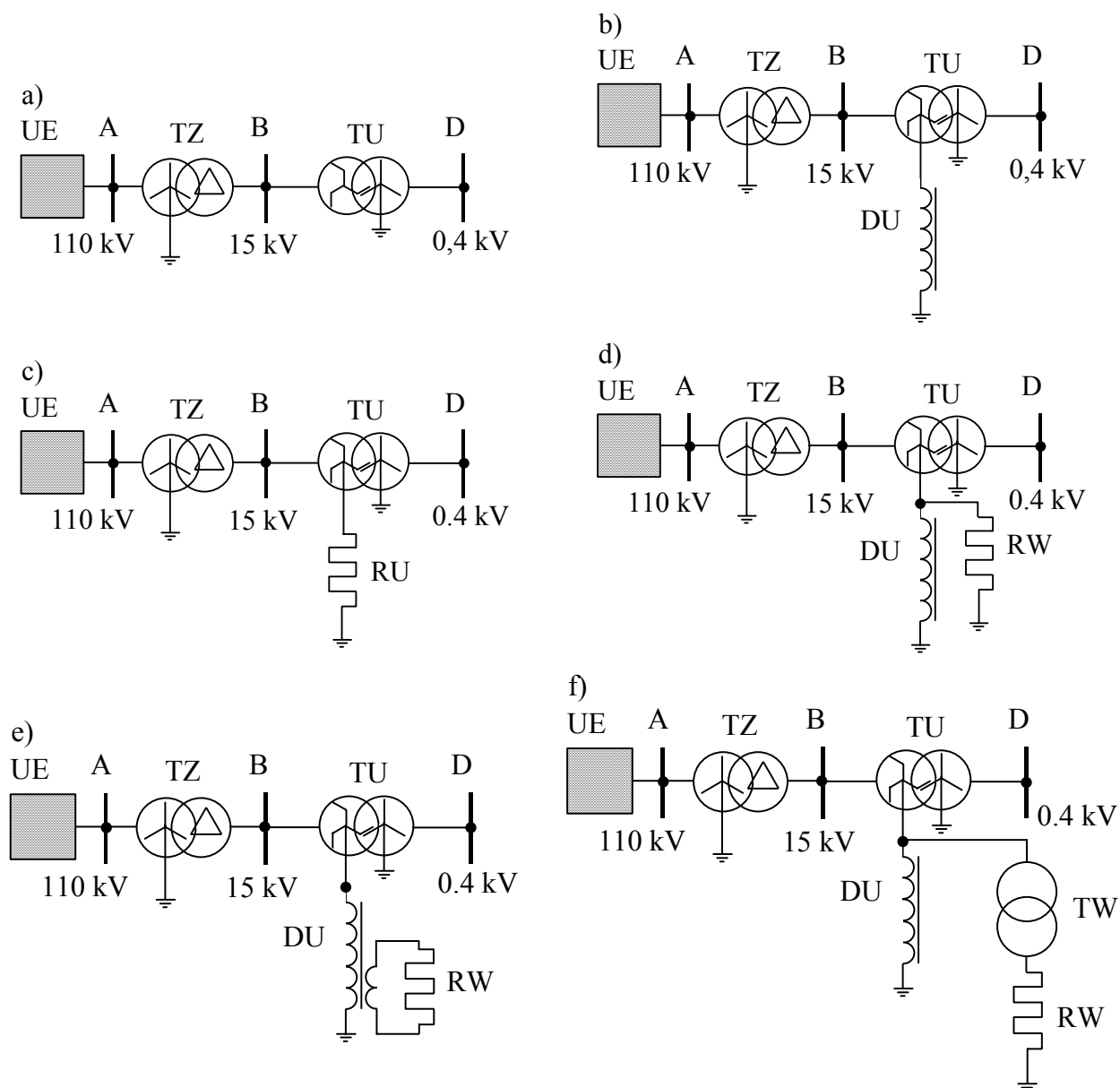
- niższy koszt zakupu,
- mniejszą różnicę napięć na początku i końcu rozładowywania co wynika z mniejszej rezystancji wewnętrznej,
- możliwość ładowania napięciem tętniącym.

Na rys. 6.1 zaprezentowano podstawowy układ współpracy baterii akumulatorów z prostownikami [5]. W układzie buforowym (rys. 6.1a) bateria akumulatorów i prostownik pracują trwale równolegle tzn. wyłączni (3) jest zamknięty a przełącznik (4) w położeniu pozwalającym doładowywać ciągle akumulatory

6.3. TRANSFORMATORY POTRZEB WŁASNYCH (UZIEMIAJĄCE)

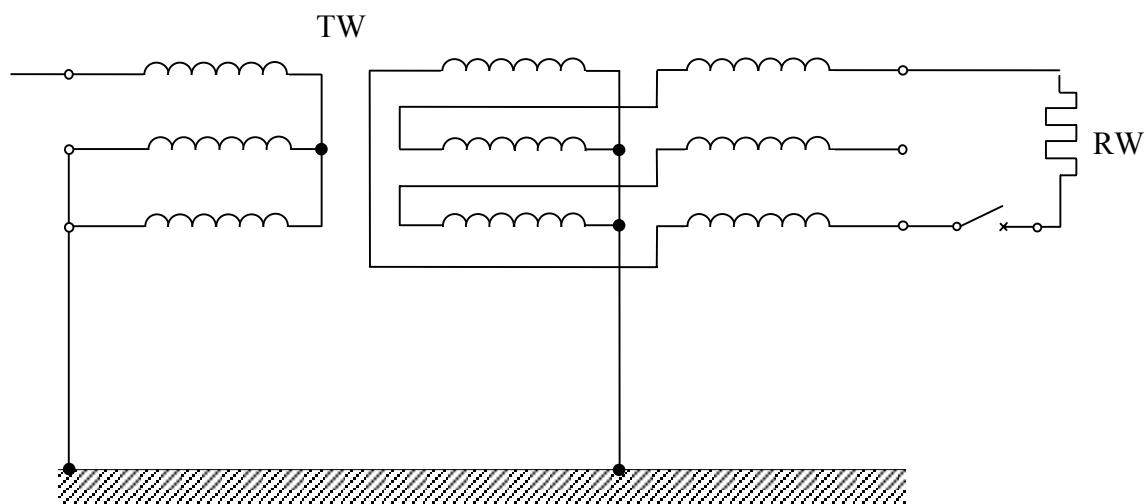
W Polsce sieci elektroenergetyczne średniego napięcia są zasilane przez transformatory, które mają układ połączeń YNd lub Yd i w tej sytuacji punkt neutralny sieci jest niedostępny. Punkt neutralny sieci średniego napięcia może być:

- Izolowany (rys. 6.2a).
- Skompensowany, czyli uziemiony przez dławik gaszący zwaną cewką Petersena (rys. 6.2b).
- Uziemiony trwale przez rezystor ograniczający prąd doziemienia do żądanej wartości (rys. 6.2c).
- Skompensowany i z dorywczo uziemionym punktem neutralnym przez rezystor zwany rezystorem wymuszającym, przy czym stosuje się tutaj trzy rozwiązania:
 - ◆ rezystor wymuszający pierwotny włączany pomiędzy punkt neutralny transformatora uziemniającego a uziemienie (rys. 6.2d),
 - ◆ rezystor wymuszający wtórny włączany po stronie wtórnej dławika gaszącego (rys. 6.2e),
 - ◆ rezystor wymuszający wtórny włączany po stronie wtórnej jednofazowego transformatora wymuszającego, przy czym transformator wymuszający jest włączany pomiędzy punkt neutralny transformatora uziemniającego a uziemienie (rys. 6.2 f).



Rys. 6.2. Sposoby uziemienia punktu neutralnego sieci z nieskutecznie uziemionym punktem neutralnym oraz sposoby pracy transformatora potrzeb własnych:

- a) sieć z izolowanym punktem neutralnym,
- b) sieć skompensowana, czyli uziemiona przez dławik gaszący zwany też cewką Petersena,
- c) sieć z punktem neutralnym uziemionym przez rezystor uziemiający,
- d) sieć skompensowana z rezystorem wymuszającym wysokonapięciowym (rezystorem włączonym bezpośrednio, równoległe do cewki Petersena),
- e) sieć skompensowana z rezystorem wymuszającym niskonapięciowym włączonym do dodatkowego uzwojenia cewki Petersena (można taki układ stosować jeżeli cewka posiada dodatkowe uzwojenie),
- f) sieć skompensowana z rezystorem wymuszającym niskonapięciowym włączonym na stronę wtórną dodatkowego transformatora wymuszającego włączonego równoległe do cewki Petersena pracującego jednofazowo.



Rys. 6.3. Sposób połączenia transformatora wymuszającego w układzie z rys. 6.2f).

We wszystkich tych przypadkach zachodzi potrzeba zastosowania w stacjach transformatorów uzziemających. Służą one do uzyskania sztucznego punktu zerowego i kompensacji prądów ziemnozwarciowych. W czasie normalnej pracy, jeżeli nie ma doziemienia w sieci, służą one do zasilania potrzeb własnych stacji. W czasie doziemienia w sieci, w punkcie neutralnym transformatora występuje napięcie fazowe. Uzwojenie górnego napięcia jest wtedy obciążone jednocześnie prądem kompensacyjnym ziemnozwarciowym i prądem obciążenia uzwojenia wtórnego mocą układu potrzeb własnych. Uzwojenie dolnego napięcia jest obciążone prądem kolejności zgodnej (od obciążenia mocą układu potrzeb własnych) natomiast uzwojenie pierwotne z prądem kolejności zgodnej i zerowej (prąd kompensacyjny). W związku z tym uzwojenia górnego napięcia tych transformatorów są projektowane na pracę dorywczą, warunki pracy i obciążalność tych transformatorów podaje poniższa tabela. Transformatory uzziemające są wykonywane jako trójfazowe a ich uzwojenia są kojarzone w układzie połączeń ZNyn11.

Tabl. 6.1 Czas trwania obciążenia w postaci prądu kompensacyjnego

Prąd kompensacyjny w % prądu znamionowego	Czas pracy w godzinach
100	2
87.5	4
75	8
62.5	praca ciągła
50	praca ciągła

Konstrukcja transformatorów uzziemających różni się od zwykłych transformatorów energetycznych a podstawowe różnica to kilkakrotnie większa moc uzwojenia pierwotnego połączonego w zygzak niż uzwojenia wtórnego. W czasie pracy transformatora zaciski uzwojenia górnego są połączone z siecią, a punkt neutralny jest połączony z zaciskami dławika gaszącego lub z rezystora. Dobór dławika do konkretnego układu i transformatora uzziemającego dokonywany jest w prosty sposób – na podstawie wartości prądu kompensacyjnego, które podawane są w katalogach tych dławików i transformatorów. Dane znamionowe transformatorów uzziemających podano w tabl. 6.2. Napięcie zwarcia i straty podane w tabl. 6.2 odniesione są do mocy znamionowej transformatora.

6.4. DŁAWIKI GASZĄCE

Dobór dławików gaszących polega na wyborze odpowiedniej wartości prądu kompensacyjnego wymuszanego przez dławik. Prąd znamionowy dławika dobiera się zwykle 20÷30% wyższy od prądu jednofazowego zwarcia z ziemią w sieci z izolowanym punktem neutralnym. Producenci dławików podają zakres prądów kompensowanych przez dławik gaszący, zwykle jest to zakres 0,5 ÷ 1,0 prądu znamionowego dławika. Z uwagi na przepływ przez dławik prądów kompensacyjnych o znacznych wartościach ogranicza się czas pracy dławika. Wytwórcy podają czasy pracy oraz wartości prądów kompensacyjnych odpowiadające położeniom przełącznika zaczepów. Na rynku mamy do dyspozycji kilka rozwiązań konstrukcyjnych dławików gaszących:

- Dławiki typu DGOc (w tabl. 6.3 podana jest ich obciążalność, dane znamionowe w tabl. 6.4 a widok na rys. 6.3).
- Dławiki jugosłowiańskie typu Pe, wyposażone w dodatkowe uzwojenia do pomiaru prądu.
- Dławiki jugosłowiańskie typu 2Pe, wyposażone w dodatkowe uzwojenia do pomiaru napięcia i do pomiaru prądu, a ponadto w specjalne uzwojenie do wymuszania przepływu składowej czynnej doziemnego prądu zwarcia o parametrach: 500A, 10s. Dane znamionowe dławików typu Pe oraz 2Pe są w tabl. 6.5
- Dławiki typu ZTC produkcji czeskiej, których dane znamionowe są w tabl. 6.6. Dławiki te posiadają płynną regulację wartości prądu kompensującego. Regulacja ta jest realizowana przez zmianę szczeliny powietrznej w obwodzie magnetycznym dławika. Zmiana tej szczeliny odbywa się przy pomocy silnika elektrycznego sterowanego ręcznie lub przez specjalny układ samoczynnego dostrojenia dławika do aktualnej wartości doziemnego prądu pojemnościowego sieci. Dławiki tego typu są także wyposażone w dodatkowe uzwojenie o napięciu znamionowym 400 V, i o prądzie sześciosekundowym o wartości 900 A, przeznaczone do podłączenia rezystora wymuszającego. Dławiki z możliwością płynnej regulacji prądu kompensującego są wykorzystywane zwykle w sieciach, w których następują częste zmiany konfiguracji układu. Dla napięć 6÷20 kV produkowane są dławiki ZTC dwójakiego przeznaczenia – dla ruchu dwugodzinnego lub ruchu ciągłego.

Tabl. 6.2. Dane znamionowe transformatorów uziemiających

Lp.	Typ	Moc kompen- sacyjna	Moc potrzeb własnych (znamionowa)	Napięcie GN	Napięcie DN	Prąd kompen- sacyjny	Napięcie zwarcia	Straty jałowe	Straty obciąże- niowe
		kVA	kVA	V	V	A	%	W	W
1	TUOc 110/6	109	100	6300	400	30-15	4.5	410	1800
2	TUOc 145/6	145	100	6300	400	40-20	4.5	410	1600
3	TUOc 220/6	218	100	6300	400	60-30	4.5	450	1400
4	TUOc 290/6	290	100	6300	400	80-40	4.5	540	1400
5	TUOc 435/6	436	100	6300	400	120-60	4.5	540	1300
6	TUOc 180/10	182	100	10500	400	30-15	4.5	460	1500
7	TUOc 240/10	242	100	10500	400	40-20	4.5	540	1500
8	TUOc 365/10	364	100	10500	400	60-30	4.5	540	1200
9	TUOc 485/10	485	100	10500	400	80-40	4.5	540	1300
10	TUOc 730/10	727	100	10500	400	120-60	4.5	1450	900
11	TUOc 970/10	970	100	10500	400	160-80	4.5	1800	900
12	TUOc 275/15	273	100	15750	400	30-15	4.5	450	1340
13	TUOc 365/15	364	100	15750	400	40-20	4.5	450	1400
14	TUOc 545/15	546	100	15750	400	60-30	4.5	490	1250
15	TUOc 730/15	727	100	15750	400	80-40	4.5	1600	900

16	TUOc 1090/15	1091	100	15750	400	120-60	4.5	1600	900
17	TUOc 1640/15	1637	100	15750	400	180-90	5.5	1700	1100
18	TUOc 365/20	364	100	21000	400	30-15	4.5	440	1300
19	TUOc 485/20	485	100	21000	400	40-20	4.5	560	1300
20	TUOc 730/20	727	100	21000	400	60-30	4.5	1360	900
21	TUOc 970/20	970	100	21000	400	80-40	5	1600	1000
22	TUOc 1455/20	1455	100	21000	400	120-60	5.5	1700	1100
23	TUOc 1940/20	1940	100	21000	400	160-80	6.0	1700	1300
24	TUOc 2400/20	2425	100	21000	400	200-100	6.0	1500	1400
25	TUOc 730/10s	727	315	10500	400	120-60	4.5	1080	3500
26	TUOc 1090/15s	1091	315	15750	400	120-60	5	900	3400
27	TUOc 1640/15s	1637	315	15750	400	180-90	5.5	960	3100
28	TUOc 1455/20s	1455	315	21000	400	120-60	6	960	3100

Tabl. 6.3. Obciążalności dławików oraz dopuszczalne czasy pracy odpowiadające położeniom przełącznika zaczepów dla dławików typu DGOc

Położenie przełącznika	Prąd kompensacyjny w % prądu znamionowego	Czas pracy w h
1	100,0	2
2	87,5	4
3	75,0	8
4	62,5	praca ciągła
5	50,0	praca ciągła

Tabl. 6.4. Dane znamionowe dławików gaszących typu DGOc

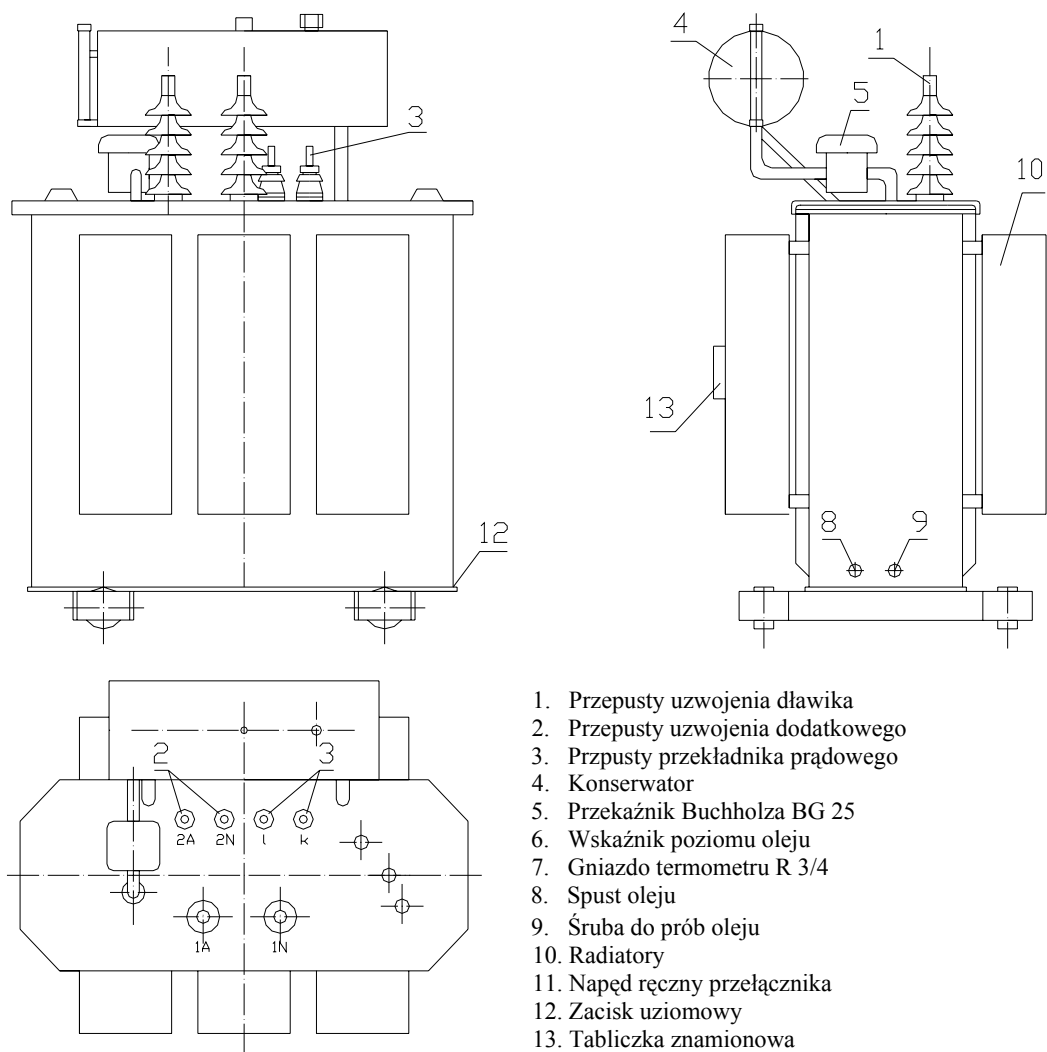
Lp.	Typ	Moc kompensacyjna	Napięcie sieci	Napięcie dławika	Prąd kompensacyjny
		kvar	V	V	A
1	DGOc 110/6	109	6300	3637	30-15
2	DGOc 145/6	145	6300	3637	40-20
3	DGOc 220/6	218	6300	3637	60-30
4	DGOc 290/6	290	6300	3637	80-40
5	DGOc 435/6	436	6300	3637	120-60
6	DGOc 180/10	182	10500	6062	30-15
7	DGOc 240/10	242	10500	6062	40-20
8	DGOc 365/10	364	10500	6062	60-30
9	DGOc 485/10	485	10500	6062	80-40
10	DGOc 730/10	727	10500	6062	120-60
11	DGOc 970/10	970	10500	6062	160-80
12	DGOc 275/15	273	15750	9093	30-15
13	DGOc 365/15	364	15750	9093	40-20
14	DGOc 545/15	546	15750	9093	60-30
15	DGOc 730/15	727	15750	9093	80-40
16	DGOc 1090/15	1091	15750	9093	120-60
17	DGOc 1640/15	1637	15750	9093	180-90
18	DGOc 365/20	364	21000	12124	30-15
19	DGOc 485/20	485	21000	12124	40-20
20	DGOc 730/20	727	21000	12124	60-30
21	DGOc 970/20	970	21000	12124	80-40
22	DGOc 1455/20	1455	21000	12124	120-60
23	DGOc 1940/20	1940	21000	12124	160-80

Tabl. 6.5. Dane znamionowe dławików gaszących typu 2Pe oraz Pe

Lp.	Typ	Moc kompensacji	Napięcie sieci	Napięcie dławika	Prąd kompensacji
		[kVAr]	[V]	[V]	[A]
1	2Pe 175- 5-17,5	175	15750	$15750/\sqrt{3}$	20 - 10
2	2Pe 260- 5-17,5	260	15750	$15750/\sqrt{3}$	30 - 15
3	2Pe 350- 5-17,5	350	15750	$15750/\sqrt{3}$	40 - 20
4	2Pe 520- 5-17,5	520	15750	$15750/\sqrt{3}$	60 - 30
5	2Pe 1040- 5-17,5	1040	15750	$15750/\sqrt{3}$	120 - 60
6	Pe 260- 5-17,5	260	15000	$15000/\sqrt{3}$	30 - 15
7	Pe 520- 5-17,5	520	15000	$15000/\sqrt{3}$	60 - 30
8	Pe 1040- 5-17,5	1040	15000	$15000/\sqrt{3}$	120 - 60

Tabl. 6.6. Dane znamionowe dławików typu ZTC dla sieci 15kV [29]

Czas pracy	Typ dławika	Moc	Napięcie znamionowe	Zakres regulacji	Przekładnik prądowy
		[kVA]	[kV]	[A]	[A]
Ruch dwugodzinny	ZTCc 50	200	$15,75/\sqrt{3}$	3 ÷ 22	30/5
	ZTC 250	400	$15,75/\sqrt{3}$	4 ÷ 44	50/5
	ZTCc 250	500	$15,75/\sqrt{3}$	5,5 ÷ 55	50/5
	ZTC 800	1250	$15,75/\sqrt{3}$	13 ÷ 137	150/5
Ruch ciągły	ZTC 50	125	$15,75/\sqrt{3}$	2 ÷ 14	15/5
	ZTC 250	250	$15,75/\sqrt{3}$	2,8 ÷ 28	30/5
	ZTC 800	800	$15,75/\sqrt{3}$	8 ÷ 88	100/5



Rys. 6.4. Widok dławika gaszącego typu DGOc

6.5. REZYSTORY UZIEMIAJĄCE

W sieciach elektroenergetycznych średniego napięcia do uziemienia punktu neutralnego stosuje się rezystory żeliwne. Na rezystory te zaadaptowano rezystory rozruchowe silników wysokiego napięcia. Są to rezystory o żeliwnej części aktywnej, w wykonaniu wewnętrznym. Te rezystory uziemające produkowane są przez Wielkopolską Fabrykę Maszyn Elektrycznych „WIEFAMEL” w Poznaniu. Rezystory te są zestawiane z elementów, z których każdy ma rezystancję 2,6 Ω. Podstawowe parametry tych rezystorów podano w tabl.6.7.

Tabl. 6.7. Dane znamionowe żeliwnych rezystorów uziemających dla sieci SN [29]

Lp.	Typ	Napięcie sieci	Rezystancja	Liczba elementów składowych
		[kV]	[Ω]	-
1	3SŻ 6,9	6	6,9	3
2	5SŻ 11,1	10	11,1	5
3	7SŻ 18,2	15	18,2	7
4	9SŻ 23,4	20	23,4	9

Rezystory uziemiające w wykonaniu napowietrznym i wewnątrzowym produkuje Energoprojekt Zakład Doświadczalny w Poznaniu. Rezystory te są typu UR, są wykonywane jako suche z chłodzeniem powietrznym. Rezystor wykonany jest z taśmowych, fechralowych elementów rezystancyjnych. Podstawowe parametry tych rezystorów przedstawia tabl. 6.8 i tabl. 6.9 w oparciu o dane z [32]. Na rys. 6.5 przedstawiono

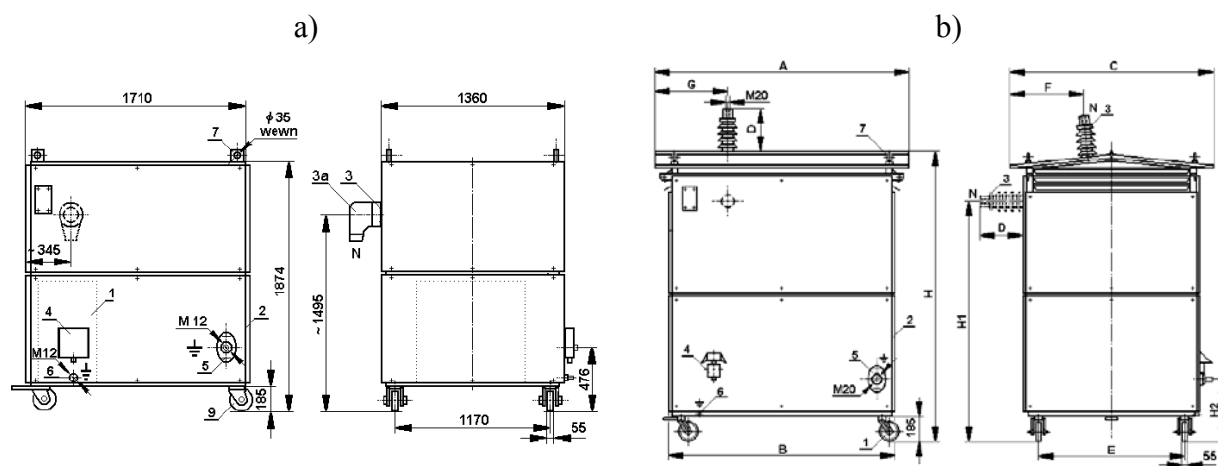
Tabl. 6.8. Ogólne dane znamionowe (zakresy) żeliwnych rezystorów uziemiających

Typ rezystora	UR 15÷200/6÷20/769÷17,5/V(H)	UR 201÷500/6÷20/58÷7/V(H)
Prąd znamionowy zwarcia, w [A]	15 ÷ 200	201 ÷ 500
Rezystancja znamionowa, w [Ω]	769 ÷ 17,5	58 ÷ 7
Napięcie znamionowe sieci, [kV]	6 ÷ 20	6 ÷ 20
CYKL PRACY, w [s]:		
Czas obciążenia prądem zwarcia	5	5
Przerwa (bez obciążenia prądem zwarcia)	30	30
Dopuszczalna liczba cykli pracy następujących bezpośrednio po sobie	2	2
Zakres temperatury pracy, w [$^{\circ}$ C]	-25 ÷ +40	-25 ÷ +40
Stopień ochrony obudowy	IP 23	IP 23
Masa, w [kg]	400 ÷ 650	600 ÷ 1095
Wysokość, w [mm]	1445 ÷ 1845	1360 ÷ 2130
Szerokość, w [mm]	1330	1500 ÷ 1850
Głębokość, w [mm]	1290	1370 ÷ 1500
Wysokość izolatora wejściowego	250 ÷ 390	250 ÷ 390

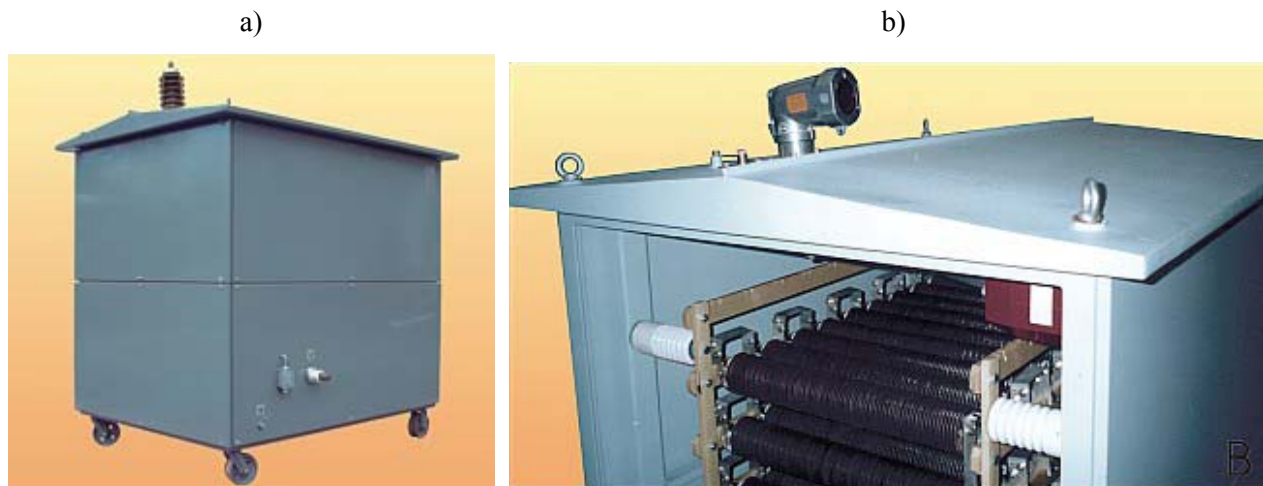
Tabl. 6.9. Dane znamionowe wybranych rezystorów uziemiających

Typ rezystora	UR 25÷40/15/ 364÷227,5/H	URS 250/15/ 30/H	UR 500/20/23/ V(H)	UR 500/20/23/ V(H)	UR 1500/15/ 5,3 /V(H)
Przeznaczony do pracy	napowietrznej	wnętrzowej	wnętrzowej	napowietrznej	napowietrznej lub wewnętrznej
Wyposażony w głowicę kablową EUROMOLD	Tak	Tak	Tak	Nie	Nie
Prąd znamionowy zwarcia, w [A]	R1 - 25 R2 - 30 R3 - 30 R4 - 40	250	500	500	1500
Napięcie probiercze przemienne krótkotrwałe 50 Hz, 1 min., w [kV]	38	28	50	50	38
Napięcie probiercze piorunowe udarowe 1,2/50 μ s, w [kV]	95	60	95	95	95
Rezystancja znamionowa, w [Ω]	R1 - 364 R2 - 303 R3 - 260 R4 - 227,5	30 \pm 5%	23 \pm 5%	23 \pm 5%	5,3 \pm 5%
Napięcie znamionowe sieci, w [kV]	15	15	20	20	15

Przekładnia przekładnika prądowego, w [A/A]	50/5	100 / 5	100 / 5	100 / 5	1500/5
Czas obciążenia prądem zwarcia, w [s]	5	5	5	5	10
Przerwa (bez obciążenia prądem zwarcia), w [s]	30	30	30	30	
Dopuszczalna liczba cykli pracy następujących bezpośrednio po sobie	2	2	2	2	-
Strefa zabrudzenia	I wg PN-E-06303 : 1998	I wg PN-E-06303 : 1998	I wg PN-E-06303 : 1998	I wg PN-E-06303 : 1998	I wg PN-E-06303 : 1998
Temperatura otoczenia, w [K]/[°C]	268 ÷ 313 - 5 ÷ + 40	268 ÷ 313 - 5 ÷ + 40	268 ÷ 313 - 5 ÷ + 40	268 ÷ 313 - 5 ÷ + 40	268 ÷ 313 - 5 ÷ + 40
Wilgotność względna %	90	90	90	90	90
Stopień ochrony	IP 23	IP 20	IP 20	IP 23	IP 23
Masa, w [kg]	~640	~ 830	~ 1040	~ 1080	~ 1400
Wyposażenie dodatkowe	-	Stycznik próżniowy typu V-Contact V12 z blokadą elektryczną	-	-	-
Napięcie zasilania obwodów sterowniczych V	-	100 ÷ 250 AC/DC	-	-	-
Styki pomocnicze stycznika	-	4Z + 4R	-	-	-

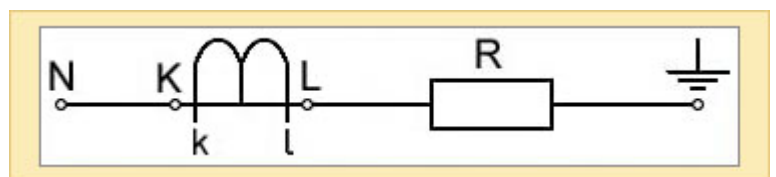


Rys. 6.5. Widoki w dwóch płaszczyznach wybranych rezystorów uziemiających:
 a) typu UR 250/15/30/H,
 b) typu UR 500/20/23/V(H) wykonanie napowietrzne.



Rys. 6.6. Widok zewnętrzny i po zdjęciu obudowy wybranych rezystorów uziemiających:
 a) typu URS 250/15/30/H,
 b) typu UR 500/20/23/V(H) wykonanie wewnętrzne.

Rezystory w wykonaniu napowietrznym produkowane są również przez Zakład Wykonawstwa Sieci Elektrycznych Olsztyn SA. Rezystory te są wykonane z profili stalowych, a ich dane znamionowe dla sieci 15kV podane są w tabl. 6.10. Rezystor wykonany jest z profili stalowych osłoniętych pokrywami z blachy w formie zamkniętej szafy zapewniającej stopień ochrony IP 23. Powłoka antykorozyjna poliuretanowa. Elementy oporowe umocowane są na ramie montażowej wspartej na izolatorach wsporczych. Końce rezystora wyprowadzone są na izolatory przepustowe do podłączenia obwodów zewnętrznych. Rezystor ma wbudowany przekładnik prądowy typu IMZ-20, którego uzwojenia wtórne wyprowadzono do puszkki rozgałęznej na zewnątrz obudowy.



Rys. 6.7. Widok i schemat rezystora w wykonaniu napowietrznym produkowanego przez Zakład Wykonawstwa Sieci Elektrycznych Olsztyn SA

Tabl. 6.10. Dane znamionowe rezystora w wykonaniu napowietrznym produkowanego przez Zakład Wykonawstwa Sieci Elektrycznych Olsztyn SA

Znamionowa rezystancja	40, 60, 75, 90 ohm (lub na indywidualne zamówienie)
Napięcie znamionowe	15 kV
Maksymalne napięcie pracy	20 kV
Znamionowy prąd zwarciov	(150 - 200) A/2s

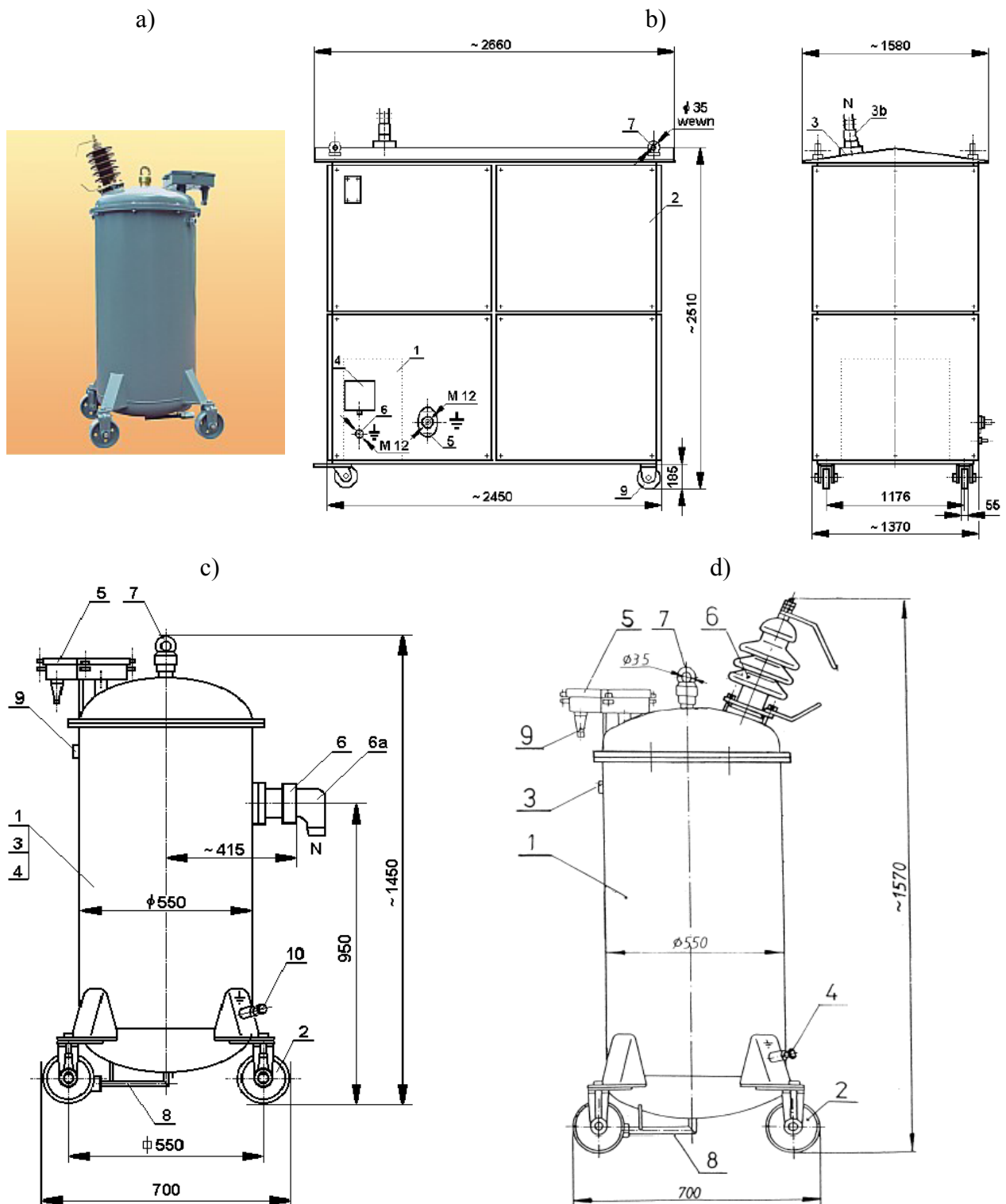
Przekładnia przekładnika prądowego	100/5 A
Stopień ochrony	IP 23
CieŜar	~600 kg
wysokość	2,05 m
długość	1,2 m
szerokość	1 m

6.6. REZYSTORY WYMUSZAJĄCE WYSOKIEGO NAPIĘCIA

Obecnie produkowane są rezystory wymuszające wysokiego napięcia przez Energoprojekt Zakład Doświadczalny w Poznaniu. Rezystory wyposażone w łączniki umożliwiające włączanie ich na czas potrzebny do działania zabezpieczeń ziemnozwarciowych. Produkowane są rezystory typu AWP oraz URS. Dane znamionowe przykładowych rezystorów uziemiających dla sieci SN przedstawia tabl. 6.11, rys. 6.8. Dane te opracowano w oparciu o karty katalogowe rezystorów [31].

Tabl. 6.11. Dane znamionowe rezystorów uziemiających dla sieci SN [29]

Typ rezystora	URS 40/30/433/ V	AWP 40/20 - III	AWPd 40/20 - I
Przeznaczony do pracy	napowietrznej	napowietrznej	napowietrznej
Wyposażony w głowicę kablową PFISTERER lub złącze	Tak	Tak	Tak
Prąd znamionowy zwarcia, w [A]	40	40	40
Napięcie probiercze przemienne krótkotrwałe 50 Hz, 1 min., w [kV]	50	38	50
Napięcie probiercze piorunowe udarowe 1,2/50 μ s, w [kV]	125	75	125
Rezystancja znamionowa, w [Ω]	433 \pm 5%	288 \pm 10 %	288 \pm 5 %
Napięcie znamionowe sieci, w [kV]	$30/\sqrt{3}$	20	20
Czas obciążenia prądem zwarcia, w [s]	5	2/2/2	2/2/2
Przerwa (bez obciążenia prądem zwarcia), w [s]	30	0,5/15/30	0,5/15/30
Dopuszczalna liczba cykli pracy następujących bezpośrednio po sobie	2	2	2
Strefa zabrudzenia	I wg PN-E- 06303 : 1998	I wg PN-E- 06303 : 1998	I wg PN-E- 06303 : 1998
Temperatura otoczenia, w [K]/[$^{\circ}$ C]	268 \div 313 - 5 \div + 40	268 \div 313 - 5 \div + 40	268 \div 313 - 5 \div + 40
Wilgotność względna, w [%]	90	100	100
Stopień ochrony	IP 23	IP 23	IP 23
Masa, w [kg]	~ 1000	~ 375	~ 375
Wyposażenie dodatkowe	Stycznik próżniowy typ ISM/TEL 24 16/800 053 z podtrzymaniem elektrycznym	-	Stycznik
Napięcie zasilania obwodów sterowniczych V	24 \div 230 AC/DC	-	400 V 50 Hz
Styki pomocnicze stycznika	4Z + 4R	-	-



Rys. 6.8. Rezystory wymuszające wysokiego napięcia:
 a) widok rezystora typu AWPd 40/20 - I,
 b) rezystor typu URS 40/30/433/ V,
 c) rezystor typu AWP 40/20 - III,
 d) rezystor typu AWPd 40/20 - I.

6.7. TRANSFORMATORY WYMUSZAJĄCE

W układzie wymuszania składowej czynnej z transformacją prądu wymuszanego przy pomocy transformatorów wymuszających stosuje się rezystory wymuszające niskiego napięcia. Dla elektroenergetycznych sieci średniego napięcia powinno się stosować transformatory wymuszające o mocach jak podano w tabl. 6.12.

Tabl. 6.12. Dane znamionowe transformatorów wymuszających dla sieci SN [29]

Napięcie znamionowe sieci [kV]	Moc transformatora [kVA]	Napięcie transformatora [kVA]	Układ połączeń
6	40	6,3/0,4	Yz5
10	63	10,5/0,4	Yz5
15	40	10,5/0,4	Yz5
20	63	15,75/0,4	Yz5

6.8. REZYSTORY WYMUSZAJĄCE NISKIEGO NAPIĘCIA

Początkowo stosowano do tego celu rezystory typu AZK – 101 przeznaczone do zdalnego sterowania zwrotnic kolejowych, ale zaprzestano ich produkcji ze względu na zmianę sposobu zdalnego przekładania tych zwrotnic. Z tego powodu do układów wymuszających dostosowano rezystory złożone z elementów rezystorów rozruchowych silników elektrycznych. Rezystory te, oznaczone symbolem KFW–1 do KFW–8, przystosowane są do współpracy zarówno z transformatorami wymuszającymi, jak i dławikami gaszącymi o dodatkowych uzwojeniach wymuszających. Obecnie są to jedyne rezystory wymuszające niskiego napięcia produkowane przez przemysł krajowy. Produkuje je Wielkopolska Fabryka Maszyn Elektrycznych „WIEFAMEL” Poznań. Dane tych rezystorów są podane w tabl.6.13.

Tabl. 6.13. Dane znamionowe rezystorów uziemiających niskiego napięcia [29]

Typ	Rezystancja	Obciążalność w cyklu wymuszającym	Przeznaczenie
	[Ω]	[A]	
KFW – 1	0,85	280	Sieć 6kV, transformator wymuszający: 40kVA; 6,3/0,4kV; Yz5
KFW – 2	0,538	560	Sieć 10kV, transformator wymuszający: 63kVA; 10,5/0,4kV; Yz5 Sieć 20kV, transformator wymuszający: 63kVA; 15,75/0,4kV; Yz5
KFW – 3	0,72	560	Sieć 15kV, transformator wymuszający: 40kVA; 10,5/0,4kV; Yz5
KFW – 4	0,35	560	Sieć 15kV, transformator wymuszający: 63kVA; 15,5/0,4kV; Yz5

Dławiki produkcji jugosłowiańskiej typu 2Pe oraz dławiki typu DGOc produkcji polskiej posiadają dodatkowe uzwojenie o napięciu znamionowym 500 V, i o prądzie dziesięciosekundowym 500 A. Dławiki produkcji czeskiej typu ZTC wyposażone są w dodatkowe uzwojenie o napięciu znamionowym 400 V oraz prądzie sześciusekundowym 900 A. Rezystory wymuszające niskiego napięcia przystosowane do współpracy z dławikami posiadającymi

dotatkowe uzwojenia produkowane są przez Wielkopolską Fabrykę Maszyn Elektrycznych „WIEFAMEL” Poznań. Dane dotyczące rezystorów wymuszających niskiego napięcia typu KFW zawarte są w tabl. 6.14.

Tabl. 6.14. Dane znamionowe rezystorów wymuszających niskiego napięcia do współpracy z dławikami gaszącymi

Typ	Rezystancja	Obciążalność w cyklu wymuszającym	Przeznaczenie
	[Ω]	[A]	
KFW – 5	0,320	200	Dławik 2Pe lub DGOc dla sieci 6kV
KFW – 6	1,500	400	Dławik 2Pe lub DGOc dla sieci 10kV
KFW – 7	1,076	560	Dławik 2Pe lub DGOc dla sieci 15kV
KFW – 8	1,000	560	Dławik 2Pe lub DGOc dla sieci 20kV

Dotatkowe dane dławików gaszących typu 2Pe są w tabl. 6.15 a o polskich dławikach typu DGOc w tabl. 6.16 i tabl. 6.17..

Tabl. 6.15. Parametry dodatkowych uzwojeń dławików gaszących typu 2Pe

Typ dławika	Prąd znam.	Rezystancja uzwojenia głównego		Rezystancja uzwojenia dodatkowego		Napięcie zwarcia	
		min.	max.	min.	max.	min.	max.
	[A]	[Ω]	[Ω]	[Ω]	[Ω]	[%]	[%]
2Pe 210- 5-7,2	60	0,77	1,14	0,096	0,132	26,9	35,9
2Pe 420- 5-7,2	120	0,27	0,39	0,068	0,095	11,8	14,6
2Pe 260- 5-12	40	1,72	2,54	0,092	0,131	25,3	33,3
2Pe 460- 5-12	80	0,65	0,935	0,067	0,092	11,3	14,7
2Pe 175- 5-17,5	20	5,73	8,53	0,101	0,139	29,7	37,4
2Pe 260- 5-17,5	30	3,20	5,00	0,090	0,125	23,5	30,3
2Pe 350- 5-17,5	40	2,24	3,30	0,080	0,105	15,8	20,0
2Pe 520- 5-17,5	60	1,34	2,00	0,071	0,098	11,6	15,7
2Pe 1040- 5-17,5	120	0,52	0,77	0,039	0,053	6,3	7,8
2Pe 460- 5-24	40	2,67	3,90	0,067	0,093	12,1	15,0
2Pe 920- 5-24	80	1,07	1,54	0,037	0,052	6,4	8,0

Tabl. 6.16. Parametry dodatkowych uzwojeń dławików gaszących typu DGOc na napięciu 15kV

Typ dławika	Prąd znam.	Rezystancja uzwojenia głównego		Rezystancja uzwojenia dodatkowego		Napięcie zwarcia	
		min.	max.	min.	max.	min.	max.
	[A]	[Ω]	[Ω]	[Ω]	[Ω]	[%]	[%]
DGOc -275 /15	30	2,320	3,441	0,0237	0,0351	24,0	52,3
DGOc -365 /15	40	1,127	1,811	0,0204	0,0279	15,4	31,0
DGOc -545 /15	60	0,779	1,272	0,0204	0,0279	16,0	32,5
DGOc -730 /15	80	0,461	0,768	0,017	0,0226	9,8	19,5
DGOc -1090 /15	120	0,326	0,546	0,017	0,0226	10,4	20,7
DGOc -1640 /15	180	0,214	0,336	0,0156	0,0214	7,5	15,0

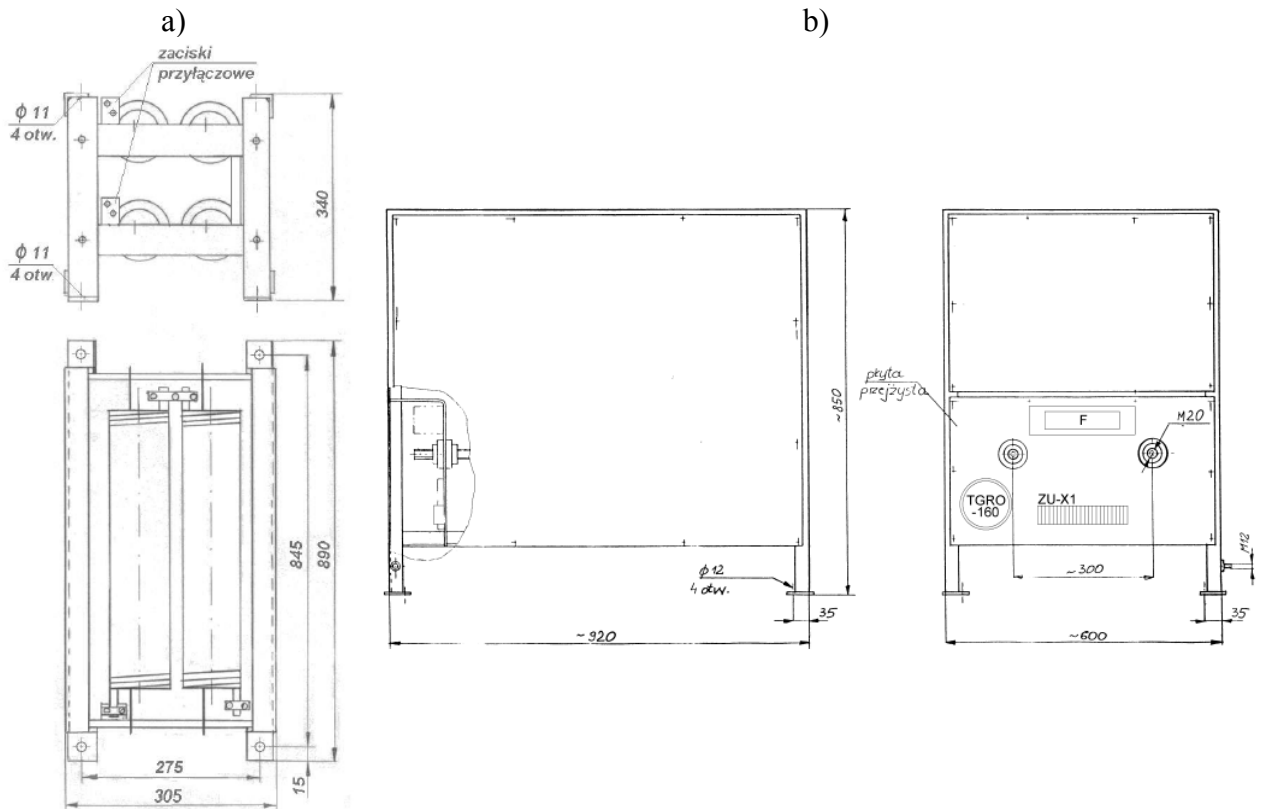
Tabl. 6.17. Dane dławika typu DGOc 730/15s

Zaczep	Prąd kompensacyjny	Czas pracy	Impedancja	Całkowita liczba zwojów uzwojeń:		Napięcie uzwojeń dodatkowych
				głównych	dodatkowych	
1	80	2	119,8	664	42	535,0
2	70	4	137,8	710	44	524,0
3	60	8	160,1	766	46	508,0
4	50	ciągła	192,7	836	51	516,0
5	40	ciągła	240,6	936	56	505,5

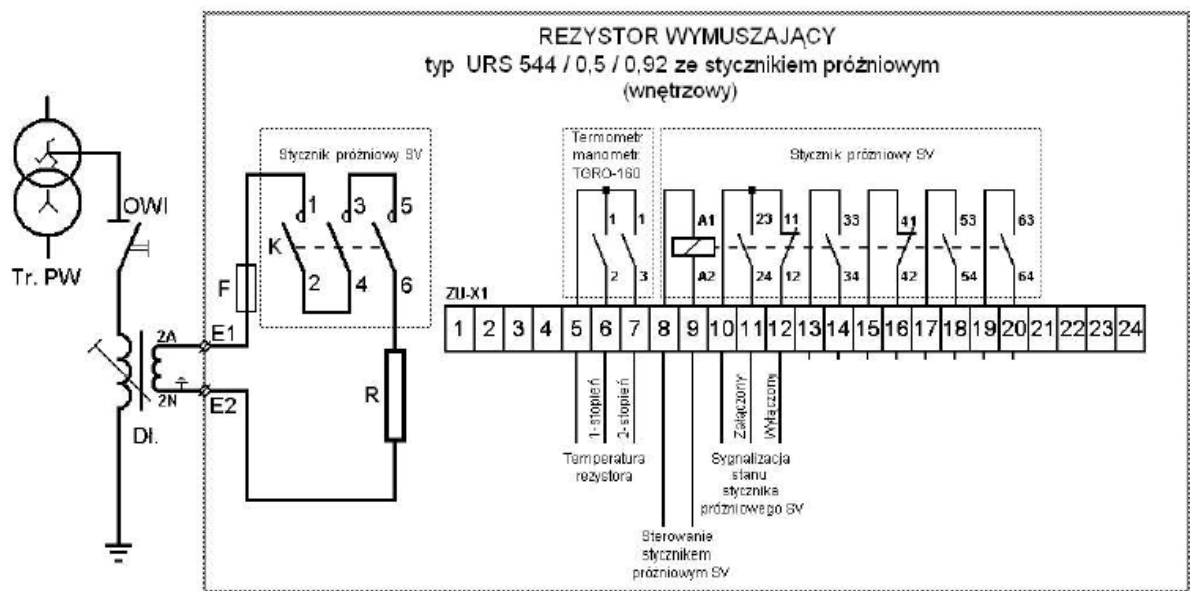
Energoprojekt Zakład Doświadczalny w Poznaniu produkuje także rezystory wymuszające niskiego napięcia typu URS lub RWP o danych znamionowych podanych w tabl.6.18 i pokazane na rys. 6.9 w oparciu o [30]. Schemat połączeń rezystora wymuszającego niskiego napięcia współpracującego z dławikiem gaszącym pokazano na rys. 6.10.

Tabl. 6.18. Dane techniczne wybranych rezystorów wymuszających niskiego napięcia do współpracy z dławikami gaszącymi

Typ rezystora	RWP 437 / 0,5 / 1,144	URS 544/0,5/0,92
Przeznaczony do pracy	wewnętrznej	wewnętrznej
Prąd znamionowy, w [A]	90	90
Prąd znamionowy przeciążeniowy, w [A]	437	544
Prąd znamionowy przeciążeniowy dopuszczalny, w [A]	500	
Rezystancja znamionowa, w [Ω]	1,144 \pm 5%	0,92 \pm 5%
Napięcie znamionowe sieci, w [V]	500	500
Czas obciążenia prądem przeciążeniowym, w [s]	5	5
Przerwa (bez obciążenia prądem przeciążeniowym), w [s]	30	30
Dopuszczalna liczba cykli pracy następujących bezpośrednio po sobie	2	2
Strefa zabrudzenia	I wg PN-E- 06303 : 1998	I wg PN-E- 06303 : 1998
Temperatura otoczenia, w [K]/[$^{\circ}$ C]	268 \div 313 - 5 \div + 40	268 \div 313 - 5 \div + 40
Wilgotność względna %	90	90
Stopień ochrony	-	IP 20
Masa, w [kg]	~ 40	~ 135
Wyposażenie dodatkowe	-	Stycznik próżniowy typu 8V
Napięcie zasilania obwodów sterowniczych V	-	110 \div 400 AC/DC
Styki pomocnicze stycznika	-	4NO + 4NZ



Rys. 6.9. Rezystory wymuszające niskiego napięcia do współpracy z dławikami gaszącymi:
 a) rezystor typu RWP 437 / 0,5 / 1,144,
 b) rezystor typu URS 544/0,5/0,92.



Rys. 6.10. Schemat połączeń rezystora wymuszającego niskiego napięcia współpracującego z dławikiem gaszącym [30]

6.9. DOBÓR TRANSFORMATORA UZIEMIAJĄCEGO ZASILAJĄCEGO REZYSTOR UZIEMIAJĄCY

Stosuje się rezystory uziemiające dołączone do punktu zerowego transformatora uziemiającego w celu ograniczenia prądów zwarciovych. Dopuszcza się wówczas większe wartości prądów zwarciovych w krótkim czasie dla skutecznego zabezpieczenia sieci energetycznych. Poniżej przedstawiony jest sposób doboru transformatorów uziemiających serii TUOc do rezystorów i prądów zwarciovych stosowanych w energetyce. Oporność rezystora w punkcie zerowym:

$$R_Z = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot I_Z} \quad (6.1)$$

gdzie:

- R_Z – rezystancja rezystora uziemiającego,
- I_Z – prąd zwarciovy,
- U – napięcie nominalne sieci.

Moc rzeczywista transformatora, czyli moc, jaka w przybliżeniu wydziela się podczas przepływu prądu zwarciovygo:

$$P_{RZ} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_F = \frac{\sqrt{3}}{3} \cdot U \cdot I_Z \quad (6.2)$$

Moc zastępcza dla czasu $t=3$ sek. może być pięciokrotnie mniejsza od mocy rzeczywistej [127]. Transformator musi posiadać moc znamionową większą od mocy zastępczej. Zestawienie prądów zwarciovych, rezystorów uziemiających i przynależnych transformatorów uziemiających TUOc przedstawia tabl. 6.19.

Tabl. 6.19. Dobór transformatora uziemiającego pracującego z rezystorami uziemiającymi przy różnych wartościach prądu doziemnego [127]

Napięcie sieci [V]	Prąd zwarcia [A]	Rezystor [Ω]	Moc rzeczywista [kVA]	Moc zastępcza [kVA]	Seryjny transformator
6300	100	36	354	75	TUOc 100/6
	150	24	545	110	TUOc 110/6
	200	18	727	145	TUOc 145/6
	250	14,5	910	182	TUOc 220/6
	300	12	1090	220	TUOc 220/6
	350	10,5	1273	225	TUOc 290/6
	400	9	1455	290	TUOc 290/6
	450	8	1637	327	TUOc 435/6
	500	7	1819	364	TUOc 435/6
	550	6,5	2001	400	TUOc 435/6
10500	600	6	2182	436	TUOc 435/6
	100	60	606	121	TUOc 180/10
	150	40,5	910	182	TUOc 180/10
	200	30	1210	242	TUOc 240/10
	250	24	1515	303	TUOc 365/10

	300	20	1820	364	TUOc 365/10
	350	17	2120	424	TUOc 485/10
	400	15	2420	484	TUOc 485/10
	450	13,5	2728	546	TUOc 730/10
	500	12	3031	606	TUOc 730/10
	550	11	3334	667	TUOc 730/10
	600	10	3637	727	TUOc 730/10
	650	9	3940	788	TUOc 970/10
	700	8,5	4244	849	TUOc 970/10
	750	8	4547	909	TUOc 970/10
	800	7,5	4850	970	TUOc 970/10
15750	100	90	910	182	TUOc 275/15
	150	60	1364	273	TUOc 275/15
	200	45	1820	364	TUOc 365/15
	250	36	2270	454	TUOc 545/15
	300	30	2730	546	TUOc 545/15
	350	26	3180	636	TUOc 730/15
	400	23	3637	727	TUOc 1090/15
	450	20	4092	818	TUOc 1090/15
	500	18	4547	909	TUOc 1090/15
	550	16,5	5001	1000	TUOc 1090/15
	600	15	5456	1091	TUOc 1090/15
	650	14	5911	1182	TUOc 1640/15
	700	13	6365	1273	TUOc 1640/15
	750	12	6820	1364	TUOc 1640/15
	800	11,5	7275	1455	TUOc 1640/15
	850	10,5	7729	1546	TUOc 1640/15
	900	10	8184	1637	TUOc 1640/15
21000	100	121	1212	242	TUOc 365/20
	150	81	1820	364	TUOc 365/20
	200	60	2425	485	TUOc 485/20
	250	48	3030	606	TUOc 730/20
	300	40	3640	727	TUOc 730/20
	350	34	4240	898	TUOc 970/20
	400	30	4850	970	TUOc 970/20
	450	27	5456	1091	TUOc 1455/20
	500	24	6062	1212	TUOc 1455/20
	550	22	6668	1334	TUOc 1455/20
	600	20	7275	1455	TUOc 1455/20
	650	18,5	7881	1576	TUOc 1940/20
	700	17	8487	1697	TUOc 1940/20
	750	16	9093	1819	TUOc 1940/20
	800	15	9699	1940	TUOc 1940/20
	850	14	10306	2061	TUOc 2400/20
	900	13,5	10912	2182	TUOc 2400/20
950	13	11518	2304	TUOc 2400/20	
1000	12	12124	2425	TUOc 2400/20	

Podane rezystory w punkcie zerowym w praktyce należy zmniejszyć o ok. 5% ze względu na oporność składowej zerowej, jaka występuje w transformatorze uziemiającym. Prąd zwarcia doziemnego zależy od impedancji zwarciowej kolejności zgodnej transformatora mocy zasilającego sieć i od impedancji kolejności zerowej transformatora uziemiającego. W związku z tym

w tabl. 6.20 podano pomierzone wartości impedancji składowej zerowej na zaczeple znamionowym transformatorów uziemiających produkcji EV Żychlińskie Transformatory.

Tabl. 6.20. Pomierzone wartości impedancji składowej zerowej na zaczeple znamionowym transformatorów uziemiających produkcji EV Żychlińskie Transformatory

Typ	Impedancja składowej zerowej na zaczeple znamionowym [Ω]			
TUOc 110/6	6.16	6.7	5.6	6.6
TUOc 145/6	5.98			
TUOc 220/6	5.9	5.82		
TUOc 290/6	5.7	5.35	5.47	
TUOc 435/6	3.1			
TUOc 485/10	19.6			
TUOc 730/10	2.6	2.69	2.61	2.5
TUOc 970/10	2.5	2.38		
TUOc 275/15	37.0	34	36.1	
TUOc 365/15	39.18	37.16	43.4	45.6
TUOc 545/15	37.6	41.53	37.9	
TUOc 730/15	4.6	5.2	4.95	
TUOc 1090/15	4.52	4.63	4.62	
TUOc 1090/15s	12.5			
TUOc 1640/15	3.45	3.6	3.44	
TUOc 485/20	69.6			
TUOc 730/20	9.0	9.1	9.82	9.03
TUOc 970/20	7.87	7.6		
TUOc 1455/20	6.01	6.11	5.77	
TUOc 1455/20s	19.7			
TUOc 1940/20	5.0	5.28	5.03	4.94
TUOc 2400/20	5.03	4.94		
TUOc 3640/30s	27.4			

LITERATURA

- [1] Anderson P. M.: Analysis of Faulted Power Systems. The IEEE Press, Power Systems Engineering Series, New York, 1995.
- [2] Arciszewski J., Komorowska I.: Ochrona sieci elektroenergetycznych od przepięć. Wskazówki wykonawcze. PTPiREE, Poznań 1999 r.
- [3] Babij J., Kutzner J.: Zasady doboru urządzeń elektrycznych rozdzielni stacji. Wyd. Politech. Poznańskiej, Poznań, 1968.
- [4] Bełdowski T., Markiewicz H.: Stacje i urządzenia elektroenergetyczne. Warszawa WNT 1992.
- [5] Bełdowski T.: Stacje elektroenergetyczne. WNT, Warszawa, 1980.
- [6] Blackburn J. L.: Symmetrical Components for Power Systems Engineering. M. Dekker, New York, 1993.
- [7] Ciastoń A., Nartowski Z., Piłat K, Stachoń J.: Design Experience in SCC Mechanical Withstand Capability of 110-400 kV Substations with Flexible Conductors. International Symposium on SHORT-CIRCUIT CURRENTS IN POWER SYSTEMS Warszawa 1996, ref. 2.5.
- [8] Ciastoń A., Nartowski Z., Piłat K.: Obliczenia wytrzymałości zwarciowej rozdzielni 110-400 kV. Energetyka 1997, Nr 5, str. 239-243.
- [9] CIGRE Study Committee 23 (Substations) Working Group 23-11 (Substations and Environment) SCC Task Force (Effects of Short-circuit Currents): The Mechanical Effects of Short circuit Currents in Open Air Substations (Rigid and Flexible Bus-Bars). Geneva 1996.
- [10] Gąsowski H., Jabłoński W., Niestępski S., Wolski A.: Komentarz do normy PN-IEC 60364. Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. COSiW SEP, Warszawa 2001.
- [11] HD 637 S1:1999. Power installations exceeding 1 kV a.c.
- [12] IEC 60549:1976. High-voltage fuses for the external protection of shunt power capacitors.
- [13] IEC 60781:1989: Application guide for calculation of short-circuit currents in low-voltage radial systems.
- [14] IEC 60787:1983-01. Application guide for the selection of fuse-links of high-voltage fuses for transformer circuit applications.
- [15] IEC 60787:1985-am. 1. Application guide for the selection of fuse-links of high-voltage fuses for transformer circuit applications.
- [16] IEC 60865 - 1:1993: Calculation of the effects of short – circuit currents.
- [17] IEC 60865 – 2:1994: Short – circuit currents – Calculation of effects – Part 2: Examples of calculation.
- [18] IEC 60909-0:2001. Short – circuit current calculation in three - phase a.c. systems. Part 0: Calculation of currents.
- [19] IEC 60909-1:2002. Short – circuit current calculation in three - phase a.c. systems. Part 1: Factors for the calculation of short-circuit currents according to IEC 60909-0.

- [20] IEC 60909-2:1992. Short – circuit current calculation in three - phase a.c. systems. Part 2: Electrical equipment – Data for short-circuit current calculation in accordance with IEC 60909.
- [21] IEC 60909-3:2003. Short – circuit current calculation in three - phase a.c. systems. Part 3: Currents during two separate simultaneous single phase line-to-earth short circuits and partial short-circuit through earth.
- [22] IEC 60909-4:2000. Short – circuit current calculation in three - phase a.c. systems. Part 3: Examples for the calculation of short-circuit currents.
- [23] IEC 61660-1:1997. Short-circuit Currents in DC Auxiliary Installations in Power Plants and Substations. Part 1: Calculation of Short-circuit Currents.
- [24] IEC 61660-2:1997. Short-Circuit Currents in DC Auxiliary Installations in Power Plants and Substations. Part 2: Calculation of Effects.
- [25] IEC 61660-3:2000. Short-circuit Currents in DC Auxiliary Installations in Power Plants and Substations. Part 3: Examples of calculations
- [26] IEC 61936-1:2002. Power installations exceeding 1 kV a.c. Part 1: Common rules.
- [27] Jankosz J.: Niektóre zagadnienia związane z oszynowaniem rurowym rozdzielni napowietrznych 110 - 400 kV. Energetyka, 1986, nr 4.
- [28] Jankowicz S.: Wybrane zagadnienia rozdzielnic osłoniętych wysokiego napięcia z SF₆. Warszawa, Prace Instytutu Elektrotechniki 1986, z. 140.
- [29] Kabaciński K.: Wytyczne projektowania zabezpieczeń ziemnozwarciowych elektroenergetycznych sieci średniego napięcia. Energoprojekt Poznań, 1990.
- [30] Karty katalogowe rezystorów wymuszających niskiego napięcia typu RWP 437/0,5/1,144 oraz URS 544/0,5/0,92. Energoprojekt Zakład Doświadczalny w Poznaniu, www.energoprojektzd.pl.
- [31] Karty katalogowe rezystorów wymuszających wysokiego napięcia typu URS 40/30/433/V, AWP 40/20-III, AWPd 40/20-I. Energoprojekt Zakład Doświadczalny w Poznaniu, www.energoprojektzd.pl.
- [32] Karty katalogowe rezystorów uziemiających typu UR 25÷40/15/364÷227,5/H, URS 250/15/30/H, UR 500/20/23/V(H), UR 1500/15/5,3/V(H). Energoprojekt Zakład Doświadczalny w Poznaniu, www.energoprojektzd.pl.
- [33] Koettnitz H., Winkler G., Wesnigk K. D.: Grundlagen elektrischer Betriebsvorgänge in Elektroenergiesystemen. VEB, Leipzig 1986.
- [34] Kurdziel R.: Działanie cieplne i dynamiczne prądów zwarciovych. PWN, Warszawa 1957.
- [35] Markiewicz H., Wołkowiński K.: Urządzenia elektroenergetyczne. WNT, Warszawa 1980.
- [36] Markiewicz H.: Bezpieczeństwo w elektroenergetyce. WNT, Warszawa, 1999.
- [37] Markiewicz H.: Instalacje elektryczne. WNT, Warszawa 2002.
- [38] Markiewicz H.: Urządzenia elektroenergetyczne. WNT, Warszawa 2001.
- [39] Matla R., Tomaszewicz E.: Zasady doboru urządzeń. Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1983.
- [40] N SEP-E-001: Sieci elektroenergetyczne niskiego napięcia. Ochrona przeciwporażeniowa. COSiW SEP, Warszawa 2003.

- [41] Nartowski Z., Jabłoński W., Nahotko M., Samek S.: Komentarz do normy PN-E-05115. COSiW SEP, Warszawa 2004.
- [42] Nartowski Z.: Minimalne odstępstwa w instalacjach elektroenergetycznych wysokiego napięcia. IMPE, nr 57, str. 20-26.
- [43] Nartowski Z.: Stacje elektroenergetyczne 110 kV - 750 kV, WNT 1984.
- [44] Ossowicki J., Joeck R.: Zabezpieczanie słupowych stacji transformatorowych bezpiecznikami topikowymi. PTPiREE Klient, Dystrybucja, Przesył, nr 4, 2003.
- [45] Piechocki A.: Co warto wiedzieć o SF₆. Poznań, PTPiREE 1999.
- [46] PN-72/E-90038 Elektroenergetyczne przewody gołe. Szyny miedziane sztywne.
- [47] PN-72/E-90039 Elektroenergetyczne przewody gołe. Szyny aluminiowe sztywne.
- [48] PN-74/E-05002 Urządzenia elektroenergetyczne. Dobór aparatów wysokonapięciowych w zależności od warunków zwarciovych. (Nieaktualna)
- [49] PN-86/E-05155 Urządzenia elektroenergetyczne. Wysokonapięciowa aparatura rozdzielcza i sterownicza. Wspólne wymagania i badania.
- [50] PN-86/E-06114 Wkładki bezpiecznikowe do zabezpieczania silników w obwodach wysokiego napięcia. Wymagania ogólne, badania i zasady doboru. (Nieaktualna)
- [51] PN-86/E-06130.02 Telekomunikacja w energetyce. Układy sprzężenia. Dławiki zaporowe. Wymagania i badania.
- [52] PN-88/E-06313 Elektroenergetyczne izolatory wysokiego napięcia. Dobór ceramicznych izolatorów liniowych i stacyjnych pod względem wytrzymałości mechanicznej.
- [53] PN-89/E-06105.04 Wyłączniki wysokonapięciowe prądu przemiennego. Nazwy i określenia.
- [54] PN-89/E-06105/01 Wyłączniki wysokonapięciowe prądu przemiennego. Warunki pracy, prądy znamionowe, konstrukcja i budowa.
- [55] PN-90/E-05025. Obliczanie skutków prądów zwarciovych. (nieaktualna)
- [56] PN-90/E-06105.03 Wyłączniki wysokonapięciowe prądu przemiennego. Badania wyrobu, dobór, zamawianie i instalowanie.
- [57] PN-91/E-06105.02 Wyłączniki wysokonapięciowe prądu przemiennego. Badania typu.
- [58] PN-92/ E-08106 Stopnie ochrony zapewniane przez obudowy.
- [59] PN-92/E06110 Bezpieczniki topikowe wysokonapięciowe. Bezpieczniki ograniczające prąd. (nieaktualna)
- [60] PN-E-04700:1998 Urządzenia i układy elektryczne w obiektach elektroenergetycznych. Wytyczne przeprowadzania pomontażowych badań odbiorczych.
- [61] PN-E-04700:1998/Az1:2000 Urządzenia i układy elektryczne w obiektach elektroenergetycznych. Wytyczne przeprowadzania pomontażowych badań odbiorczych (Zmiana Az1).
- [62] PN-E-05115:2002 Instalacje elektroenergetyczne prądu przemiennego o napięciu wyższym od 1 kV.
- [63] PN-E-06116:2001 Wyłączniki wysokonapięciowe prądu przemiennego. Łączenie obciążenia indukcyjnego.

- [64] PN-E-06553:2000 Przekładniki kombinowane.
- [65] PN-E-06303:1998 Narażenia zabrudzeniowe izolacji napowietrznej i dobór izolatorów do warunków zabrudzeniowych.
- [66] PN-E-81003:1996. Transformatory. Oznaczenia zacisków i zaczepów uzwojeń, rozmieszczenie zacisków.
- [67] PN-EN 50110-1 Eksploatacja urządzeń elektrycznych.
- [68] PN-EN 50110-2:2002 (U) Eksploatacja urządzeń elektrycznych (załączniki krajowe).
- [69] PN-EN 50164-2:2003 (U) Elementy urządzenia piorunochronnego (LPC). Część 2: Wymagania dotyczące przewodów i uziomów.
- [70] PN-EN 60044-1:2000 Przekładniki prądowe.
- [71] PN-EN 60044-1:2000/A1:2002 (U) Przekładniki. Przekładniki prądowe (Zmiana A1).
- [72] PN-EN 60044-1:2000/A1:2003 Przekładniki. Część 1: Przekładniki prądowe (Zmiana A1).
- [73] PN-EN 60044-1:2000/A2:2004 Przekładniki. Przekładniki prądowe (Zmiana A2).
- [74] PN-EN 60044-2 (PN-85/E-06551) Przekładniki napięciowe indukcyjne.
- [75] PN-EN 60044-2:2001 Przekładniki. Przekładniki napięciowe indukcyjne.
- [76] PN-EN 60044-2:2001/A1:2002 (U) Przekładniki. Przekładniki napięciowe indukcyjne (Zmiana A1).
- [77] PN-EN 60044-2:2001/A1:2003 Przekładniki. Część 2: Przekładniki napięciowe indukcyjne (Zmiana A1).
- [78] PN-EN 60044-2:2001/A2:2004 Przekładniki. Przekładniki napięciowe indukcyjne (Zmiana A2).
- [79] PN-EN 60044-3:2003 (U) Przekładniki. Część 3: Przekładniki kombinowane.
- [80] PN-EN 60044-6:2000 Przekładniki. Wymagania dotyczące przekładników prądowych do zabezpieczeń w stanach przejściowych.
- [81] PN-EN 60044-7:2003 Przekładniki. Część 7: Przekładniki napięciowe elektroniczne.
- [82] PN-EN 60044-8:2003 (U) Przekładniki. Część 8: Przekładniki elektroniczne prądowe.
- [83] PN-EN 60071-1. Koordynacja izolacji. Cz. 1: Definicje, zasady i reguły.
- [84] PN-EN 60071-2. Koordynacja izolacji. Cz. 2: Przewodnik stosowania.
- [85] PN-EN 60076-1:2001. Transformatory. Wymagania ogólne.
- [86] PN-EN 60076-2:2001. Transformatory. Przyrosty temperatury.
- [87] PN-EN 60076-5:2001. Transformatory. Wytrzymałość zwarciova.
- [88] PN-EN 60076-8:2002. Transformatory. Przewodnik stosowania.
- [89] PN-EN 60099-1:2002(U) Ograniczniki przepięć - Iskiernikowe zaworowe ograniczniki przepięć dla sieci prądu przemiennego.
- [90] PN-EN 60099-4:2002(U) Ograniczniki przepięć - Część 4: Beziskiernikowe zaworowe ograniczniki przepięć z tlenków metali do sieci prądu przemiennego.
- [91] PN-EN 60099-5:1999 Ograniczniki przepięć - Zalecenia wyboru i stosowania.
- [92] PN-EN 60129 Odłączniki i uziemniki prądu przemiennego.

- [93] PN-EN 60137 Izolatory przepustowe na napięcie przemiennie powyżej 1 kV.
- [94] PN-EN 60265-1:2001 Rozłączniki wysokonapięciowe. Część I: Rozłączniki na napięcia znamionowe wyższe od 1 kV i niższe od 52 kV.
- [95] PN-EN 60265-2:2002 (U) Wyłączniki wysokonapięciowe. Część 2: Wyłączniki wysokonapięciowe na napięcia znamionowe 52 kV i powyżej.
- [96] PN-EN 60269-1:2001 Bezpieczniki topikowe niskonapięciowe. Wymagania ogólne.
- [97] PN-EN 60282-1:2002(U) Bezpieczniki topikowe wysokonapięciowe. Bezpieczniki ograniczające prąd. (PN-92/E-06120)
- [98] PN-EN 60289:2000. Dławiki.
- [99] PN-EN 60420:2002(U) Wysokonapięciowe zestawy rozłącznikowe z bezpiecznikami.
- [100] PN-EN 60529:2003. Stopnie ochrony zapewnianej przez obudowy (Kod IP).
- [101] PN-EN 60644:2001. Wymagania dotyczące wkładek bezpiecznikowych wysokiego napięcia do zabezpieczenia obwodów silników.
- [102] PN-EN 60694 Postanowienia wspólne dotyczące norm na wysokonapięciową aparaturę rozdzielczą i sterowniczą.
- [103] PN-EN 60865-1:2002(U) Obliczanie skutków prądów zwarciovych - Część 1: Definicje i metody obliczania.
- [104] PN-EN 60909-0: 2002 (U) Prądy zwarciovie w sieciach trójfazowych prądu przemiennego - Część 0: Obliczanie prądów.
- [105] PN-EN 60909-3:2002 (U) Prądy zwarciovie w sieciach trójfazowych prądu przemiennego - Część 0: Prądy podwójnych, jednoczesnych i niezależnych zwarć doziemnych i częściowe prądy zwarciovie płynące w ziemi.
- [106] PN-EN 62271-100:2004 Wysokonapięciowa aparatura rozdzielcza i sterownicza. Część 100: Wyłączniki wysokiego napięcia prądu przemiennego.
- [107] PN-EN 62271-102:2003 (U) Aparatura wysokiego napięcia. Część 102: Odłączniki i uziemniki.
- [108] PN-IEC 186+A1:1994 Przekładniki napięciowe.
- [109] PN-IEC 60282-2:1999 Bezpieczniki topikowe wysokonapięciowe. Bezpieczniki gazowydmuchowe.
- [110] PN-IEC 60354:1999. Przewodnik obciążenia transformatorów olejowych.
- [111] PN-IEC 60364-4-41:2000. Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa. Ochrona przeciwporażeniowa.
- [112] PN-IEC 60364-4-442:1999. Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Ochrona instalacji niskiego napięcia przed przejściowymi przepięciami i uszkodzeniami przy doziemieniach w sieciach wysokiego napięcia.
- [113] PN-IEC 60364-5-523:2001. Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Dobór i montaż wyposażenia elektrycznego. Obciążalność prądowa długotrwała przewodów.
- [114] PN-IEC 61024-1. Ochrona odgromowa obiektów budowlanych - Zasady ogólne.
- [115] PN-IEC 61024-1-1. Ochrona odgromowa obiektów budowlanych. Zasady ogólne. Wybór poziomów ochrony urządzeń piorunowych.

- [116] PN-IEC 61128:1999 Odłączniki prądu przemiennego. Łączenie odłącznikami prądu przełączania szyn.
- [117] PN-IEC 726+A1:1997. Transformatory suche.
- [118] PN-IEC 815 Wytyczne doboru izolatorów do warunków zabrudzeniowych.
- [119] PN-IEC 815:1998 Wytyczne doboru izolatorów do warunków zabrudzeniowych.
- [120] PN-IEC 989:19994. Transformatory oddzielające, autotransformatory, transformatory regulacyjne i dławiki.
- [121] Polskie Sieci Elektroenergetyczne: Zasady ochrony od przepięć i koordynacja izolacji sieci elektroenergetycznych. Warszawa 2001.
- [122] Przepisy Budowy Urządzeń Elektrycznych PBUE. Warszawa WEMA 1989 (stan prawny na dz.31.05.1987).
- [123] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dn. 17 września 1999 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy urządzeniach i instalacjach energetycznych.
- [124] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (wraz z późniejszymi zmianami).
- [125] Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 26 września 1997 r. w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy (wraz z późniejszymi zmianami).
- [126] Sieci elektroenergetyczne w zakładach przemysłowych. WNT, Warszawa 1990.
- [127] Szablewski K.: Transformatory uziemiające w EVŻT. Opracowanie wewnętrzne 2004.
- [128] Ustawa z dnia 10 kwietnia 1997 r.: Prawo energetyczne (wraz z późniejszymi zmianami).
- [129] Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r.: Prawo budowlane (wraz z późniejszymi zmianami).
- [130] Working Group 02 (Effects of High Currents) of CIGRE Study Committee 23 (Substations) and Technical Committee No. 73 (Short-circuit Currents) of the International Commission: The Mechanical Effects of Short circuit Currents in Open Air Substations. Genewa 1987.
- [131] Zarządzenia Nr 29 Ministra Górnictwa i Energetyki z dnia 17 lipca 1974 r. w sprawie doboru przewodów i kabli do obciążenia prądem elektrycznym. Dz. Bud. Nr 7 z 1974 r., poz. 22.

ZAŁĄCZNIK NR 1

Tabl. Z1.1. Transformatory średniej i dużej mocy, chłodzenie ONAN, $t=0,5$ h

Dopuszczalne obciążenia i odpowiadające im dobowe zużycie czasu życia (wyrażone w dobach „normalnych”).

W celu stwierdzenia, czy dobowy przebieg obciążenia scharakteryzowany wartościami K_1 i K_2 jest dopuszczalny, i oceny dobowego zużycia czasu życia należy postępować następująco:

Temperatura otoczenia	40°C	30°C	20°C	10°C	0°C	-10°C	-20°C	-25°C
Dobowe zużycie izolacji: Pomnóż wartość podaną w dolnej części tablicy przez współczynnik podany tutaj. Wynik należy zaokrąglić.	10	3,2	1	0,32	0,1	0,032	0,01	0,0055
Temperatura najgorętszego miejsca: Dodaj przyrost temperatury najgorętszego miejsca podany w tablicy do temperatury otoczenia. Jeśli temperatura najgorętszego miejsca przekracza wartość podaną w tabl. 4.1, obciążenie nie jest dopuszczalne.								

	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50
K_1											
K_2											
0,7	0,001 32	0,006 40	0,032 48								
0,8	0,000 36	0,006 44	0,033 52	0,093 57							
0,9	0,001 41	0,006 48	0,034 57	0,095 62	0,292 67						
1,0	0,002 45	0,006 53	0,036 61	0,099 66	0,301 72	1,00 78					
1,1	0,002 50	0,007 58	0,038 66	0,104 71	0,312 77	1,03 83	3,72 89				
1,2	0,002 55	0,008 63	0,042 72	0,112 77	0,330 82	1,08 88	3,84 95	14,9 101			
1,3	0,003 61	0,011 68	0,049 77	0,125 82	0,359 88	1,14 94	4,02 100	15,5 107	64,7 114		
1,4	0,005 67	0,014 74	0,061 83	0,148 88	0,407 93	1,25 99	4,30 106	16,2 113	67,2 120	302 127	
1,5	0,007 73	0,022 80	0,083 89	0,191 94	0,495 100	1,45 106	4,77 112	17,5 119	70,8 126	314 133	1510 141
1,6	0,013 79	0,036 86	0,126 95	0,273 100	0,662 106	1,81 112	5,61 118	19,6 125	76,6 132	332 140	1570 148
1,7	0,025 86	0,066 93	0,213 102	0,437 107	0,992 112	2,52 118	7,21 125	23,5 132	86,9 139	361 146	1670 154
1,8	0,050 92	0,129 100	0,394 108	0,778 114	1,67 119	3,95 125	10,4 131	31,2 138	107 145	415 153	1830 161
1,9	0,104 99	0,263 107	0,782 115	1,50 121	3,11 126	6,98 132	17,2 138	47,0 145	146 152	520 160	2130 168
2,0	0,224 107	0,559 114	1,64 123	3,10 128	6,26 133	13,6 139	31,7 146	80,9 153	229 160	737 167	2730 175

Tabl. Z1.2. Transformatory średniej i dużej mocy, chłodzenie ONAN, $t=1$ h

Dopuszczalne obciążenia i odpowiadające im dobowe zużycie czasu życia (wyrażone w dobach „normalnych”).

W celu stwierdzenia, czy dobowy przebieg obciążenia scharakteryzowany wartościami K_1 i K_2 jest dopuszczalny, i oceny dobowego zużycia czasu życia należy postępować następująco:

Temperatura otoczenia	40°C	30°C	20°C	10°C	0°C	-10°C	-20°C	-25°C
Dobowe zużycie izolacji: Pomóż wartość podaną w dolnej części tablicy przez współczynnik podany tutaj. Wynik należy zaokrąglić.	10	3,2	1	0,32	0,1	0,032	0,01	0,0055

Temperatura najgorętszego miejsca:

Dodaj przyrost temperatury najgorętszego miejsca podany w tablicy do temperatury otoczenia. Jeśli temperatura najgorętszego miejsca przekracza wartość podaną w tabl. 4.1, obciążenie nie jest dopuszczalne.

	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50
K_1											
K_2											
0,7	0,001 35	0,006 41	0,032 48								
0,8	0,002 40	0,006 46	0,034 53	0,093 57							
0,9	0,002 45	0,007 51	0,037 58	0,098 63	0,292 67						
1,0	0,002 50	0,008 57	0,040 64	0,106 68	0,310 73	1,00 78					
1,1	0,003 56	0,010 63	0,047 70	0,118 74	0,337 79	1,07 84	3,72 89				
1,2	0,005 62	0,014 69	0,058 76	0,140 80	0,382 85	1,17 90	3,98 96	14,9 101			
1,3	0,008 69	0,022 75	0,080 83	0,180 87	0,461 92	1,34 97	4,39 102	16,0 108	64,7 114		
1,4	0,015 76	0,038 82	0,123 90	0,258 94	0,612 99	1,66 104	5,11 109	17,9 115	69,8 121	302 127	
1,5	0,031 83	0,073 90	0,214 97	0,419 101	0,918 106	2,28 111	6,46 116	21,1 122	78,3 128	327 135	1510 141
1,6	0,065 91	0,150 97	0,413 104	0,771 109	1,57 113	3,58 119	9,22 124	27,3 130	93,9 136	370 142	1640 149
1,7	0,146 99	0,329 105	0,871 112	1,57 117	3,05 121	6,46 126	15,2 132	40,5 138	125 144	450 150	1870 157
1,8	0,340 107	0,760 113	1,96 120	3,46 125	6,52 129	13,2 135	28,8 140	69,9 146	192 152	615 158	2310 165
1,9	0,826 115	1,83 122	4,66 129	8,12 133	15,0 138	29,4 143	61,5 148	139 154	347 160	983 167	3250 173
2,0	2,08 124	4,58 130	11,5 138	20,0 142	36,4 147	70,2 152	143 157	311 163	725 169	1860 176	5410 182

Tabl. Z1.3. Transformatory średniej i dużej mocy, chłodzenie ONAN, $t=2$ h

Dopuszczalne obciążenia i odpowiadające im dobowe zużycie czasu życia (wyrażone w dobach „normalnych”).

W celu stwierdzenia, czy dobowy przebieg obciążenia scharakteryzowany wartościami K_1 i K_2 jest dopuszczalny, i oceny dobowego zużycia czasu życia należy postępować następująco:

Temperatura otoczenia	40°C	30°C	20°C	10°C	0°C	-10°C	-20°C	-25°C
Dobowe zużycie izolacji: Pomnóż wartość podaną w dolnej części tablicy przez współczynnik podany tutaj. Wynik należy zaokrąglić.	10	3,2	1	0,32	0,1	0,032	0,01	0,0055
Temperatura najgorętszego miejsca: Dodaj przyrost temperatury najgorętszego miejsca podany w tablicy do temperatury otoczenia. Jeśli temperatura najgorętszego miejsca przekracza wartość podaną w tabl. 4.1, obciążenie nie jest dopuszczalne.								

	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50
K_1											
K_2											
0,7	0,002 39	0,006 43	0,032 48								
0,8	0,002 45	0,008 49	0,036 54	0,093 57							
0,9	0,003 51	0,010 56	0,042 61	0,104 64	0,292 67						
1,0	0,005 58	0,014 63	0,053 68	0,123 71	0,330 74	1,00 78					
1,1	0,010 66	0,023 70	0,074 75	0,159 78	0,398 82	1,14 85	3,72 89				
1,2	0,020 74	0,043 78	0,118 83	0,234 86	0,531 90	1,40 93	4,28 97	14,9 101			
1,3	0,045 82	0,090 86	0,221 92	0,399 95	0,814 98	1,93 102	5,35 106	17,4 110	64,7 114		
1,4	0,108 91	0,208 95	0,470 100	0,792 103	1,47 107	3,10 110	7,60 114	22,1 118	76,0 123	302 127	
1,5	0,275 100	0,518 104	1,12 110	1,80 113	3,11 116	5,93 120	12,8 124	32,5 128	98,5 132	357 137	1510 141
1,6	0,745 109	1,38 114	2,88 119	4,51 122	7,48 126	13,3 129	26,0 133	57,4 137	150 142	472 146	1800 151
1,7	2,13 119	3,89 124	7,96 129	12,2 132	19,8 135	33,8 139	61,7 143	123 147	278 151	742 156	2430 161
1,8	6,36 129	11,5 134	23,3 139	35,4 142	56,3 146	93,9 149	165 153	308 157	628 162	1450 166	3950 171
1,9	19,9 140	35,9 145	71,8 150	108 153	170 156	280 160	480 164	866 168	1660 172	3440 177	8070 182
2,0	65,3 151	117 156	232 161	348 164	544 167	884 171	1500 175	2640 179	4880 182	+	+

Tabl. Z1.4. Transformatory średniej i dużej mocy, chłodzenie ONAN, $t=4$ h

Dopuszczalne obciążenia i odpowiadające im dobowe zużycie czasu życia (wyrażone w dobach „normalnych”).

W celu stwierdzenia, czy dobowy przebieg obciążenia scharakteryzowany wartościami K_1 i K_2 jest dopuszczalny, i oceny dobowego zużycia czasu życia należy postępować następująco:

Temperatura otoczenia	40°C	30°C	20°C	10°C	0°C	-10°C	-20°C	-25°C
Dobowe zużycie izolacji: Pomnóż wartość podaną w dolnej części tablicy przez współczynnik podany tutaj. Wynik należy zaokrąglić.	10	3,2	1	0,32	0,1	0,032	0,01	0,0055

Temperatura najgorętszego miejsca:

Dodaj przyrost temperatury najgorętszego miejsca podany w tablicy do temperatury otoczenia. Jeśli temperatura najgorętszego miejsca przekracza wartość podaną w tabl. 4.1, obciążenie nie jest dopuszczalne.

$K_1 \backslash K_2$	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50
0,7	0,003 43	0,008 46	0,032 48								
0,8	0,005 51	0,012 53	0,040 56	0,093 57							
0,9	0,010 59	0,020 61	0,056 64	0,117 66	0,292 87						
1,0	0,023 68	0,039 70	0,091 73	0,170 74	0,377 76	1,00 78					
1,1	0,056 77	0,091 79	0,178 82	0,294 84	0,566 86	1,32 87	3,72 89				
1,2	0,154 87	0,236 89	0,417 92	0,621 94	1,04 95	2,06 97	5,00 99	14,9 101			
1,3	0,455 98	0,677 100	1,12 103	1,56 104	2,36 106	4,02 108	8,13 110	20,5 112	64,7 114		
1,4	1,45 109	2,11 111	3,36 114	4,50 115	6,38 117	9,76 119	16,8 121	34,7 123	90,6 125	302 127	
1,5	4,94 120	7,09 122	11,0 125	14,4 127	19,7 128	28,2 130	43,7 132	76,1 134	160 137	431 139	1510 141
1,6	17,9 132	25,5 134	38,8 137	50,1 139	66,8 140	92,7 142	135 144	211 146	371 149	790 151	2200 153
1,7	69,0 144	97,3 147	146 149	187 151	246 153	334 155	470 157	694 159	1100 161	1950 163	4190 166
1,8	282 157	394 160	587 162	745 164	971 166	1300 167	1790 169	2560 172	3830 174	6110 176	+ 179
1,9	1220 171	1690 173	2500 176	3150 177	4080 179	5410 181	7370 183	+ +	+ +	+ +	+ +
2,0	5540 184	+ +	+ +	+ +	+ +	+ +	+ +	+ +	+ +	+ +	+ +

Tabl. Z1.5. Transformatory średniej i dużej mocy, chłodzenie ONAN, t=8 h

Dopuszczalne obciążenia i odpowiadające im dobowe zużycie czasu życia (wyrażone w dobach „normalnych”).

W celu stwierdzenia, czy dobowy przebieg obciążenia scharakteryzowany wartościami K_1 i K_2 jest dopuszczalny, i oceny dobowego zużycia czasu życia należy postępować następująco:

Temperatura otoczenia	40°C	30°C	20°C	10°C	0°C	-10°C	-20°C	-25°C
Dobowe zużycie izolacji: Pomnóż wartość podaną w dolnej części tablicy przez współczynnik podany tutaj. Wynik należy zaokrąglić.	10	3,2	1	0,32	0,1	0,032	0,01	0,0055
Temperatura najgorętszego miejsca: Dodaj przyrost temperatury najgorętszego miejsca podany w tablicy do temperatury otoczenia. Jeśli temperatura najgorętszego miejsca przekracza wartość podaną w tabl. 4.1, obciążenie nie jest dopuszczalne.								

$K_1 \backslash K_2$	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50
0,7	0,007 47	0,012 48	0,032 48								
0,8	0,016 56	0,023 56	0,049 57	0,093 57							
0,9	0,040 65	0,054 66	0,092 66	0,148 67	0,292 67						
1,0	0,114 75	0,144 76	0,212 77	0,295 77	0,485 78	1,00 78					
1,1	0,356 86	0,436 87	0,584 87	0,735 88	1,03 88	1,73 89	3,72 89				
1,2	1,22 98	1,46 98	1,85 99	2,20 99	2,78 100	3,92 100	6,68 101	14,9 101			
1,3	4,53 110	5,33 110	6,57 111	7,55 111	9,01 112	11,4 112	16,2 113	27,9 114	64,7 114		
1,4	18,1 122	21,1 123	25,5 124	28,8 124	33,3 125	39,9 125	50,7 126	71,9 126	126 127	302 127	
1,5	78,1 136	90,0 136	107 137	120 137	136 138	158 138	190 139	242 140	345 140	609 141	1510 141
1,6	360 150	412 150	486 151	538 151	604 152	690 152	807 153	974 153	1240 154	1770 155	3160 155
1,7	1770 164	2020 165	2360 165	2600 166	2890 166	3270 167	3760 167	4410 168	5350 168	6840 169	9770 170
1,8	9320 179	+ 180	+ 180	+ 181	+ 181	+ 182	+ 182	+ 183	+ 183	+ 184	+ 184

Tabl. Z1.6. Transformatory średniej i dużej mocy, chłodzenie ONAN, $t=24$ h

Dopuszczalne obciążenia i odpowiadające im dobowe zużycie czasu życia (wyrażone w dobach „normalnych”).

W celu stwierdzenia, czy dobowy przebieg obciążenia scharakteryzowany wartościami K_1 i K_2 jest dopuszczalny, i oceny dobowego zużycia czasu życia należy postępować następująco:

Temperatura otoczenia	40°C	30°C	20°C	10°C	0°C	-10°C	-20°C	-25°C
Dobowe zużycie izolacji: Pomnóż wartość podaną w dolnej części tablicy przez współczynnik podany tutaj. Wynik należy zaokrąglić.	10	3,2	1	0,32	0,1	0,032	0,01	0,0055
Temperatura najgorętszego miejsca: Dodaj przyrost temperatury najgorętszego miejsca podany w tablicy do temperatury otoczenia. Jeśli temperatura najgorętszego miejsca przekracza wartość podaną w tabl. 4.1, obciążenie nie jest dopuszczalne.								

K_2	
0,7	0,032 48
0,8	0,093 57
0,9	0,292 67
1,0	1,00 78
1,1	3,72 89
1,2	14,9 101
1,3	64,7 114
1,4	302 127
1,5	1510 141
1,6	8080 156
1,7	+ 171

Tabl. Z1.7. Transformatory średniej i dużej mocy, chłodzenie ON, $t=0,5$ h

Dopuszczalne obciążenia i odpowiadające im dobowe zużycie czasu życia (wyrażone w dobach „normalnych”).

W celu stwierdzenia, czy dobowy przebieg obciążenia scharakteryzowany wartościami K_1 i K_2 jest dopuszczalny, i oceny dobowego zużycia czasu życia należy postępować następująco:

Temperatura otoczenia	40°C	30°C	20°C	10°C	0°C	-10°C	-20°C	-25°C
Dobowe zużycie izolacji: Pomnóż wartość podaną w dolnej części tablicy przez współczynnik podany tutaj. Wynik należy zaokrąglić.	10	3,2	1	0,32	0,1	0,032	0,01	0,0055
Temperatura najgorętszego miejsca: Dodaj przyrost temperatury najgorętszego miejsca podany w tablicy do temperatury otoczenia. Jeśli temperatura najgorętszego miejsca przekracza wartość podaną w tabl. 4.1, obciążenie nie jest dopuszczalne.								

$K_1 \backslash K_2$	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50
0,7	0,001 30	0,004 37	0,024 46								
0,8	0,001 35	0,004 42	0,025 50	0,074 55							
0,9	0,001 40	0,004 47	0,026 55	0,077 61	0,258 66						
1,0	0,001 45	0,005 52	0,027 61	0,080 66	0,267 72	1,00 78					
1,1	0,001 51	0,005 58	0,029 67	0,085 72	0,279 78	1,04 84	4,30 91				
1,2	0,002 57	0,007 64	0,034 73	0,094 78	0,300 84	1,09 90	4,47 97	20,5 104			
1,3	0,003 64	0,009 71	0,042 79	0,111 84	0,338 90	1,18 96	4,73 103	21,4 111	108 119		
1,4	0,005 71	0,015 78	0,059 86	0,144 91	0,409 97	1,35 103	5,18 110	22,8 118	113 125	631 134	
1,5	0,010 78	0,027 85	0,095 93	0,213 98	0,554 104	1,69 110	6,03 117	25,2 125	121 133	661 141	4040 150
1,6	0,022 85	0,054 92	0,174 101	0,365 106	0,868 112	2,39 118	7,76 125	29,9 132	135 140	710 148	4250 157
1,7	0,048 93	0,118 100	0,356 109	0,712 114	1,58 119	3,98 126	11,6 133	39,8 140	164 148	802 156	4590 165
1,8	0,113 101	0,271 108	0,794 117	1,54 122	3,28 128	7,69 134	20,4 141	62,3 148	226 156	994 164	5250 173
1,9	0,275 110	0,652 117	1,88 125	3,60 130	7,45 136	16,8 142	41,7 149	116 157	373 164	1430 173	6650 182
2,0	0,695 118	1,64 125	4,69 134	8,88 139	18,1 145	40,0 151	95,8 158	251 165	736 173	2480 182	+ +

Tabl. Z1.8. Transformatory średniej i dużej mocy, chłodzenie ON, $t=1$ h
Dopuszczalne obciążenia i odpowiadające im dobowe zużycie czasu życia (wyrażone w dobach „normalnych”).

W celu stwierdzenia, czy dobowy przebieg obciążenia scharakteryzowany wartościami K_1 i K_2 jest dopuszczalny, i oceny dobowego zużycia czasu życia należy postępować następująco:

Temperatura otoczenia	40°C	30°C	20°C	10°C	0°C	-10°C	-20°C	-25°C
Dobowe zużycie izolacji: Pomnóż wartość podaną w dolnej części tablicy przez współczynnik podany tutaj. Wynik należy zaokrąglić.	10	3,2	1	0,32	0,1	0,032	0,01	0,0055
Temperatura najgorętszego miejsca: Dodaj przyrost temperatury najgorętszego miejsca podany w tablicy do temperatury otoczenia. Jeśli temperatura najgorętszego miejsca przekracza wartość podaną w tabl. 4.1, obciążenie nie jest dopuszczalne.								

K_1	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50
K_2											
0,7	0,001 33	0,004 39	0,024 46								
0,8	0,001 39	0,004 44	0,025 51	0,074 55							
0,9	0,001 45	0,005 50	0,027 57	0,079 62	0,258 66						
1,0	0,002 51	0,006 57	0,031 64	0,087 68	0,276 73	1,00 78					
1,1	0,003 58	0,009 64	0,038 71	0,100 75	0,306 80	1,08 85	4,30 91				
1,2	0,005 66	0,014 71	0,053 78	0,128 83	0,363 87	1,21 93	4,66 98	20,5 104			
1,3	0,011 74	0,026 79	0,084 86	0,185 91	0,477 95	1,46 100	5,29 106	22,4 112	108 119		
1,4	0,024 82	0,055 88	0,158 95	0,317 99	0,733 104	2,00 109	6,56 114	25,7 120	119 127	631 134	
1,5	0,059 91	0,128 97	0,342 104	0,641 108	1,35 112	3,25 118	9,36 123	32,7 129	138 136	695 143	4040 150
1,6	0,153 100	0,324 106	0,827 113	1,48 117	2,92 122	6,40 127	16,2 132	48,7 138	180 145	821 152	4480 159
1,7	0,418 110	0,875 115	2,17 122	3,81 127	7,20 131	14,8 136	34,0 142	89,4 148	281 155	1100 161	5360 169
1,8	1,21 120	2,50 125	6,11 132	10,6 137	19,5 141	38,9 146	84,0 152	201 158	549 165	1800 171	7400 179
1,9	3,65 130	7,52 136	18,2 143	31,2 147	57,0 152	111 157	233 162	527 168	1310 175	3730 182	+ +
2,0	11,6	23,8	57,1	97,3	176	341	701	1540	+	+	+

	141	147	154	158	162	168	173	179	+	+	+
--	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	---	---	---

Tabl. Z1.9. Transformatory średniej i dużej mocy, chłodzenie ON, t=2 h

Dopuszczalne obciążenia i odpowiadające im dobowe zużycie czasu życia (wyrażone w dobach „normalnych”).

W celu stwierdzenia, czy dobowy przebieg obciążenia scharakteryzowany wartościami K_1 i K_2 jest dopuszczalny, i oceny dobowego zużycia czasu życia należy postępować następująco:

Temperatura otoczenia	40°C	30°C	20°C	10°C	0°C	-10°C	-20°C	-25°C
Dobowe zużycie izolacji: Pomnóż wartość podaną w dolnej części tablicy przez współczynnik podany tutaj. Wynik należy zaokrąglić.	10	3,2	1	0,32	0,1	0,032	0,01	0,0055

Temperatura najgorętszego miejsca:

Dodaj przyrost temperatury najgorętszego miejsca podany w tablicy do temperatury otoczenia. Jeśli temperatura najgorętszego miejsca przekracza wartość podaną w tabl. 4.1, obciążenie nie jest dopuszczalne.

K_1	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50
K_2											
0,7	0,001 37	0,004 41	0,024 46								
0,8	0,002 44	0,005 48	0,027 53	0,074 55							
0,9	0,003 52	0,008 56	0,032 60	0,084 63	0,258 68						
1,0	0,005 60	0,013 64	0,044 69	0,104 71	0,297 75	1,00 78					
1,1	0,012 69	0,025 73	0,070 77	0,148 80	0,377 83	1,17 87	4,30 91				
1,2	0,030 78	0,057 82	0,136 87	0,254 90	0,563 93	1,53 96	5,09 100	20,5 104			
1,3	0,083 88	0,148 92	0,321 97	0,542 100	1,04 103	2,40 106	6,86 110	24,6 114	108 119		
1,4	0,248 99	0,432 103	0,879 108	1,39 110	2,42 114	4,79 117	11,4 121	34,2 125	132 129	631 134	
1,5	0,803 110	1,37 114	2,70 119	4,12 122	6,74 125	12,1 128	24,6 132	60,2 136	189 140	778 145	4040 150
1,6	2,80 122	4,73 126	9,07 131	13,6 133	21,5 137	36,4 140	67,1 144	140 148	352 152	1150 157	5060 162
1,7	10,4 134	17,5 138	33,0 143	48,8 146	75,9 149	125 152	218 156	414 160	885 164	2280 169	7760 174
1,8	41,6 147	69,2 151	129 156	190 158	291 162	470 165	800 169	1450 173	2820 177	6190 182	+
1,9	177 160	293 164	542 169	790 172	1200 175	1920 178	3210 182	+	+	+	+

2,0	803	1320	2430	+	+	+	+	+	+	+	+
	174	178	183	+	+	+	+	+	+	+	+

Tabl. Z1.10. Transformatory średniej i dużej mocy, chłodzenie ON, t=4 h

Dopuszczalne obciążenia i odpowiadające im dobowe zużycie czasu życia (wyrażone w dobach „normalnych”).

W celu stwierdzenia, czy dobowy przebieg obciążenia scharakteryzowany wartościami K_1 i K_2 jest dopuszczalny, i oceny dobowego zużycia czasu życia należy postępować następująco:

Temperatura otoczenia	40°C	30°C	20°C	10°C	0°C	-10°C	-20°C	-25°C
Dobowe zużycie izolacji: Pomnóż wartość podaną w dolnej części tablicy przez współczynnik podany tutaj. Wynik należy zaokrąglić.	10	3,2	1	0,32	0,1	0,032	0,01	0,0055

Temperatura najgorętszego miejsca:

Dodaj przyrost temperatury najgorętszego miejsca podany w tablicy do temperatury otoczenia. Jeśli temperatura najgorętszego miejsca przekracza wartość podaną w tabl. 4.1, obciążenie nie jest dopuszczalne.

K_1	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50
K_2											
0,7	0,002 42	0,006 44	0,024 46								
0,8	0,004 50	0,009 52	0,030 54	0,074 55							
0,9	0,010 60	0,018 61	0,045 64	0,097 65	0,258 66						
1,0	0,027 70	0,042 72	0,085 74	0,154 75	0,347 76	1,00 78					
1,1	0,082 81	0,118 83	0,205 85	0,316 86	0,585 87	1,39 89	4,30 91				
1,2	0,277 93	0,386 94	0,608 96	0,844 98	1,32 99	2,48 101	6,15 102	20,5 104			
1,3	1,04 105	1,41 107	2,11 109	2,76 110	3,88 112	6,12 113	11,7 115	30,2 117	108 119		
1,4	4,26 118	5,70 120	8,27 122	10,5 123	14,0 125	19,9 126	31,7 128	61,6 130	164 132	631 134	
1,5	19,1 132	25,3 134	36,0 136	44,9 137	58,2 139	78,7 140	113 142	182 144	358 146	987 148	4040 150
1,6	93,7 147	123 148	172 151	213 152	271 153	356 155	490 156	715 158	1160 160	2300 162	6530 164
1,7	499 162	649 164	901 166	1100 167	1390 168	1800 170	2410 172	3360 174	4980 175	8140 178	+ 180
1,8	2880 178	3730 180	5130 182	6240 183	7790 184	+ +	+ +	+ +	+ +	+ +	+ +

--	--

Tabl. Z1.11. Transformatory średniej i dużej mocy, chłodzenie ON, $t=8$ h

Dopuszczalne obciążenia i odpowiadające im dobowe zużycie czasu życia (wyrażone w dobach „normalnych”).

W celu stwierdzenia, czy dobowy przebieg obciążenia scharakteryzowany wartościami K_1 i K_2 jest dopuszczalny, i oceny dobowego zużycia czasu życia należy postępować następująco:

Temperatura otoczenia	40°C	30°C	20°C	10°C	0°C	-10°C	-20°C	-25°C
Dobowe zużycie izolacji: Pomnóż wartość podaną w dolnej części tablicy przez współczynnik podany tutaj. Wynik należy zaokrąglić.	10	3,2	1	0,32	0,1	0,032	0,01	0,0055
Temperatura najgorętszego miejsca: Dodaj przyrost temperatury najgorętszego miejsca podany w tablicy do temperatury otoczenia. Jeśli temperatura najgorętszego miejsca przekracza wartość podaną w tabl. 4.1, obciążenie nie jest dopuszczalne.								

$K_1 \backslash K_2$	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50
0,7	0,005 45	0,009 45	0,024 46								
0,8	0,014 54	0,019 55	0,038 55	0,074 55							
0,9	0,040 65	0,051 65	0,080 66	0,12 66	0,258 66						
1,0	0,135 76	0,160 77	0,216 77	0,287 77	0,463 78	1,00 78					
1,1	0,506 89	0,584 89	0,726 89	0,871 90	1,16 90	1,90 90	4,30 91				
1,2	2,12 102	2,40 102	2,86 103	3,26 103	3,91 103	5,22 103	8,64 104	20,5 104			
1,3	9,84 116	11,0 116	12,8 117	14,2 117	16,3 117	19,6 117	26,1 118	43,6 118	108 119		
1,4	50,5 131	56,1 131	64,3 131	70,4 132	78,5 132	90,1 132	108 133	145 133	244 133	631 134	
1,5	286 146	315 147	358 147	388 147	427 148	478 148	551 148	685 149	886 149	1500 149	4040 150
1,6	1780 163	1950 163	2200 164	2370 164	2580 164	2850 164	3220 165	3720 165	4500 165	5990 166	+ 166
1,7	+ 180	+ 180	+ 181	+ 181	+ 181	+ 182	+ 182	+ 182	+ 183	+ 183	+ 184

--	--

Tabl. Z1.12. Transformatory średniej i dużej mocy, chłodzenie ON, t=24 h

Dopuszczalne obciążenia i odpowiadające im dobowe zużycie czasu życia (wyrażone w dobach „normalnych”).

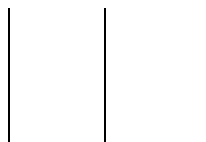
W celu stwierdzenia, czy dobowy przebieg obciążenia scharakteryzowany wartościami K_1 i K_2 jest dopuszczalny, i oceny dobowego zużycia czasu życia należy postępować następująco:

Temperatura otoczenia	40°C	30°C	20°C	10°C	0°C	-10°C	-20°C	-25°C
Dobowe zużycie izolacji: Pomnóż wartość podaną w dolnej części tablicy przez współczynnik podany tutaj. Wynik należy zaokrąglić.	10	3,2	1	0,32	0,1	0,032	0,01	0,0055

Temperatura najgorętszego miejsca:

Dodaj przyrost temperatury najgorętszego miejsca podany w tablicy do temperatury otoczenia. Jeśli temperatura najgorętszego miejsca przekracza wartość podaną w tabl. 4.1, obciążenie nie jest dopuszczalne.

K_2	
0,7	0,024 48
0,8	0,074 55
0,9	0,258 66
1,0	1,00 78
1,1	4,30 91
1,2	20,5 104
1,3	108 119
1,4	631 134
1,5	4040 150
1,6	+ 167



Tabl. Z1.13. Transformatory średniej i dużej mocy, chłodzenie OF, $t=0,5$ h
Dopuszczalne obciążenia i odpowiadające im dobowe zużycie czasu życia (wyrażone w dobach „normalnych”).

W celu stwierdzenia, czy dobowy przebieg obciążenia scharakteryzowany wartościami K_1 i K_2 jest dopuszczalny, i oceny dobowego zużycia czasu życia należy postępować następująco:

Temperatura otoczenia	40°C	30°C	20°C	10°C	0°C	-10°C	-20°C	-25°C
Dobowe zużycie izolacji: Pomóż wartość podaną w dolnej części tablicy przez współczynnik podany tutaj. Wynik należy zaokrąglić.	10	3,2	1	0,32	0,1	0,032	0,01	0,0055
Temperatura najgorętszego miejsca: Dodaj przyrost temperatury najgorętszego miejsca podany w tablicy do temperatury otoczenia. Jeśli temperatura najgorętszego miejsca przekracza wartość podaną w tabl. 4.1, obciążenie nie jest dopuszczalne.								

$K_1 \backslash K_2$	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50
0,7	0,001 35	0,003 39	0,020 44								
0,8	0,001 42	0,003 46	0,020 51	0,065 54							
0,9	0,001 49	0,004 53	0,022 59	0,067 62	0,239 66						
1,0	0,002 57	0,005 61	0,024 67	0,072 70	0,249 74	1,00 78					
1,1	0,004 66	0,008 70	0,032 75	0,084 79	0,270 83	1,05 87	4,70 91				
1,2	0,009 75	0,018 79	0,051 85	0,114 88	0,323 92	1,15 96	4,93 101	24,8 106			
1,3	0,025 85	0,045 89	0,107 95	0,202 98	0,471 102	1,42 106	5,49 11	26,2 116	147 121		
1,4	0,075 96	0,131 100	0,280 105	0,470 108	0,915 112	2,21 116	7,02 121	29,5 126	156 132	975 138	
1,5	0,241 107	0,415 111	0,846 116	1,35 119	2,35 123	4,73 127	11,8 132	39,2 137	178 143	1040 149	7230 155
1,6	0,823 118	1,41 122	2,82 127	4,38 131	7,30 135	13,3 139	27,7 143	70,8 148	246 154	1200 160	7730 166
1,7	2,99 130	5,08 134	10,1 139	15,5 143	25,4 146	44,6 151	85,0 155	183 160	482 166	1740 172	9120 178
1,8	11,5	19,5	38,4	58,8	95,5	165	305	609	1360	3700	+

	142	147	152	155	159	163	168	173	178	184	+
1,9	46,9	79,1	155	237	383	657	1200	+	+	+	+
	155	160	165	168	172	176	181	+	+	+	+
2,0	203	341	666	1010	+	+	+	+	+	+	+
	169	173	178	182	+	+	+	+	+	+	+

Tabl. Z1.14. Transformatory średniej i dużej mocy, chłodzenie OF, t=1 h

Dopuszczalne obciążenia i odpowiadające im dobowe zużycie czasu życia (wyrażone w dobach „normalnych”).

W celu stwierdzenia, czy dobowy przebieg obciążenia scharakteryzowany wartościami K_1 i K_2 jest dopuszczalny, i oceny dobowego zużycia czasu życia należy postępować następująco:

Temperatura otoczenia	40°C	30°C	20°C	10°C	0°C	-10°C	-20°C	-25°C
Dobowe zużycie izolacji: Pomnóż wartość podaną w dolnej części tablicy przez współczynnik podany tutaj. Wynik należy zaokrąglić.	10	3,2	1	0,32	0,1	0,032	0,01	0,0055
Temperatura najgorętszego miejsca: Dodaj przyrost temperatury najgorętszego miejsca podany w tablicy do temperatury otoczenia. Jeśli temperatura najgorętszego miejsca przekracza wartość podaną w tabl. 4.1, obciążenie nie jest dopuszczalne.								

$K_1 \backslash K_2$	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50
0,7	0,001 37	0,003 40	0,020 44								
0,8	0,001 45	0,004 48	0,021 52	0,065 54							
0,9	0,002 54	0,005 57	0,024 61	0,070 63	0,239 66						
1,0	0,005 63	0,009 66	0,032 70	0,081 72	0,260 75	1,00 78					
1,1	0,012 73	0,021 76	0,053 80	0,113 82	0,312 85	1,10 88	4,70 91				
1,2	0,036 84	0,058 87	0,119 91	0,209 93	0,462 96	1,35 99	5,21 102	24,8 106			
1,3	0,120 95	0,186 98	0,342 102	0,528 105	0,846 107	2,14 110	6,62 114	27,8 117	147 121		
1,4	0,431 108	0,659 110	1,16 114	1,68 117	2,66 119	4,85 122	11,2 126	36,4 129	166 133	975 138	
1,5	1,68 120	2,55 123	4,37 127	6,18 129	9,30 132	15,2 135	28,3 138	66,7 142	225 146	1110 150	7230 155
1,6	7,09 134	10,7 137	18,1 140	25,3 143	37,2 146	58,0 149	97,6 152	186 155	446 159	1570 164	8340 168
1,7	32,3 148	48,3 151	81,0 154	112 157	164 160	250 163	406 166	706 170	1380 173	3370 178	+ 182

1,8	159	236	393	543	784	1190	1890	3180	+	+	+
	162	165	169	171	174	177	181	184	+	+	+
1,9	842	1250	2060	+	+	+	+	+	+	+	+
	178	181	184	+	+	+	+	+	+	+	+

Tabl. Z1.15. Transformatory średniej i dużej mocy, chłodzenie OF, t=2 h

Dopuszczalne obciążenia i odpowiadające im dobowe zużycie czasu życia (wyrażone w dobach „normalnych”).

W celu stwierdzenia, czy dobowy przebieg obciążenia scharakteryzowany wartościami K_1 i K_2 jest dopuszczalny, i oceny dobowego zużycia czasu życia należy postępować następująco:

Temperatura otoczenia	40°C	30°C	20°C	10°C	0°C	-10°C	-20°C	-25°C
Dobowe zużycie izolacji: Pomnóż wartość podaną w dolnej części tablicy przez współczynnik podany tutaj. Wynik należy zaokrąglić.	10	3,2	1	0,32	0,1	0,032	0,01	0,0055
Temperatura najgorętszego miejsca: Dodaj przyrost temperatury najgorętszego miejsca podany w tablicy do temperatury otoczenia. Jeśli temperatura najgorętszego miejsca przekracza wartość podaną w tabl. 4.1, obciążenie nie jest dopuszczalne.								

$K_1 \backslash K_2$	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50
0,7	0,001 41	0,004 42	0,020 44								
0,8	0,002 50	0,005 51	0,023 53	0,065 54							
0,9	0,006 60	0,010 61	0,030 63	0,076 64	0,239 66						
1,0	0,017 70	0,025 72	0,053 74	0,107 75	0,286 76	1,00 78					
1,1	0,056 82	0,077 84	0,130 86	0,207 87	0,426 88	1,22 90	4,70 91				
1,2	0,211 95	0,280 96	0,421 98	0,577 99	0,922 101	1,93 102	5,85 104	24,8 106			
1,3	0,877 108	1,14 109	1,64 111	2,10 113	2,91 114	4,66 116	9,90 117	31,6 119	147 121		
1,4	4,03 122	5,20 124	7,27 126	9,07 127	11,8 128	16,6 130	26,7 131	57,2 133	191 135	975 138	
1,5	20,5 137	26,1 139	36,0 141	44,3 142	56,4 143	75,1 145	107 146	173 148	372 150	1300 153	7230 155
1,6	114 153	145 154	198 156	241 158	303 159	394 161	536 162	774 164	1260 166	2730 168	9870 171
1,7	703	886	1200	1450	1800	2320	3090	4280	6290	+	+

	169	171	173	174	176	177	179	181	183	+	+
--	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	---	---

Tabl. Z1.16. Transformatory średniej i dużej mocy, chłodzenie OF, t=4 h

Dopuszczalne obciążenia i odpowiadające im dobowe zużycie czasu życia (wyrażone w dobach „normalnych”).

W celu stwierdzenia, czy dobowy przebieg obciążenia scharakteryzowany wartościami K_1 i K_2 jest dopuszczalny, i oceny dobowego zużycia czasu życia należy postępować następująco:

Temperatura otoczenia	40°C	30°C	20°C	10°C	0°C	-10°C	-20°C	-25°C
Dobowe zużycie izolacji: Pomnóż wartość podaną w dolnej części tablicy przez współczynnik podany tutaj. Wynik należy zaokrąglić.	10	3,2	1	0,32	0,1	0,032	0,01	0,0055
Temperatura najgorętszego miejsca: Dodaj przyrost temperatury najgorętszego miejsca podany w tablicy do temperatury otoczenia. Jeśli temperatura najgorętszego miejsca przekracza wartość podaną w tabl. 4.1, obciążenie nie jest dopuszczalne.								

$K_1 \backslash K_2$	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50
0,7	0,003 43	0,005 43	0,020 44								
0,8	0,006 53	0,010 53	0,026 54	0,065 54							
0,9	0,019 64	0,025 64	0,046 65	0,089 65	0,239 66						
1,0	0,069 76	0,082 76	0,117 77	0,172 77	0,344 78	1,00 78					
1,1	0,278 89	0,320 89	0,403 90	0,499 90	0,734 91	1,50 91	4,70 91				
1,2	1,26 103	1,43 103	1,71 104	1,96 104	2,42 104	3,54 105	7,37 105	24,8 106			
1,3	6,40 118	7,18 118	8,40 119	9,37 119	10,8 119	13,3 120	19,3 120	40,7 121	147 121		
1,4	36,4 134	40,5 134	46,7 134	51,4 135	57,8 135	67,0 136	82,6 136	119 136	252 137	975 138	
1,5	231 150	256 151	292 151	319 151	353 152	400 152	467 153	576 153	823 154	1760 154	7230 155
1,6	1640 168	1800 168	2040 169	2210 169	2430 169	2720 170	3100 170	3640 171	4500 171	6400 172	+ 173

--	--

Tabl. Z1.17. Transformatory średniej i dużej mocy, chłodzenie OF, t=8 h

Dopuszczalne obciążenia i odpowiadające im dobowe zużycie czasu życia (wyrażone w dobach „normalnych”).

W celu stwierdzenia, czy dobowy przebieg obciążenia scharakteryzowany wartościami K_1 i K_2 jest dopuszczalny, i oceny dobowego zużycia czasu życia należy postępować następująco:

Temperatura otoczenia	40°C	30°C	20°C	10°C	0°C	-10°C	-20°C	-25°C
Dobowe zużycie izolacji: Pomnóż wartość podaną w dolnej części tablicy przez współczynnik podany tutaj. Wynik należy zaokrąglić.	10	3,2	1	0,32	0,1	0,032	0,01	0,0055
Temperatura najgorętszego miejsca: Dodaj przyrost temperatury najgorętszego miejsca podany w tablicy do temperatury otoczenia. Jeśli temperatura najgorętszego miejsca przekracza wartość podaną w tabl. 4.1, obciążenie nie jest dopuszczalne.								

$K_1 \backslash K_2$	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50
0,7	0,006 44	0,008 44	0,020 44								
0,8	0,017 54	0,020 54	0,034 54	0,065 54							
0,9	0,057 66	0,063 66	0,082 66	0,118 66	0,239 66						
1,0	0,223 78	0,238 78	0,273 78	0,324 78	0,469 78	1,00 78					
1,1	0,989 91	1,04 91	1,14 91	1,24 91	1,45 91	2,11 91	4,70 91				
1,2	4,95 106	5,17 106	5,53 106	5,82 106	6,31 106	7,37 106	10,7 106	24,8 106			
1,3	27,8 121	28,9 121	30,6 121	31,8 121	33,5 121	36,3 121	42,1 121	60,7 121	147 121		
1,4	175 137	181 137	190 137	197 137	205 137	217 137	235 137	271 137	388 138	975 138	
1,5	1240 155	1280 155	1330 155	1370 155	1420 155	1490 155	1570 155	1700 155	1950 155	2780 155	7230 155
1,6	9790	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

	173	173	173	173	173	173	173	173	173	173	173
--	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Tabl. Z1.18. Transformatory średniej i dużej mocy, chłodzenie OF, t=24 h

Dopuszczalne obciążenia i odpowiadające im dobowe zużycie czasu życia (wyrażone w dobach „normalnych”).

W celu stwierdzenia, czy dobowy przebieg obciążenia scharakteryzowany wartościami K_1 i K_2 jest dopuszczalny, i oceny dobowego zużycia czasu życia należy postępować następująco:

Temperatura otoczenia	40°C	30°C	20°C	10°C	0°C	-10°C	-20°C	-25°C
Dobowe zużycie izolacji: Pomnóż wartość podaną w dolnej części tablicy przez współczynnik podany tutaj. Wynik należy zaokrąglić.	10	3,2	1	0,32	0,1	0,032	0,01	0,0055

Temperatura najgorętszego miejsca:

Dodaj przyrost temperatury najgorętszego miejsca podany w tablicy do temperatury otoczenia. Jeśli temperatura najgorętszego miejsca przekracza wartość podaną w tabl. 4.1, obciążenie nie jest dopuszczalne.

K_2	
0,7	0,020 44
0,8	0,065 54
0,9	0,239 66
1,0	1,00 78
1,1	4,70 91
1,2	24,8 106
1,3	147 121
1,4	975 138
1,5	7230 155
1,6	+

	173
--	-----

Tabl. Z1.19. Transformatory średniej i dużej mocy, chłodzenie OD, $t=0,5$ h

Dopuszczalne obciążenia i odpowiadające im dobowe zużycie czasu życia (wyrażone w dobach „normalnych”).

W celu stwierdzenia, czy dobowy przebieg obciążenia scharakteryzowany wartościami K_1 i K_2 jest dopuszczalny, i oceny dobowego zużycia czasu życia należy postępować następująco:

Temperatura otoczenia	40°C	30°C	20°C	10°C	0°C	-10°C	-20°C	-25°C
Dobowe zużycie izolacji: Pomnóż wartość podaną w dolnej części tablicy przez współczynnik podany tutaj. Wynik należy zaokrąglić.	10	3,2	1	0,32	0,1	0,032	0,01	0,0055
Temperatura najgorętszego miejsca: Dodaj przyrost temperatury najgorętszego miejsca podany w tablicy do temperatury otoczenia. Jeśli temperatura najgorętszego miejsca przekracza wartość podaną w tabl. 4.1, obciążenie nie jest dopuszczalne.								

$K_1 \backslash K_2$	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50
0,7	0,000 23	0,001 29	0,008 36								
0,8	0,000 31	0,001 36	0,008 44	0,032 48							
0,9	0,000 40	0,001 45	0,009 53	0,034 57	0,163 62						
1,0	0,001 50	0,002 55	0,010 63	0,037 67	0,172 72	1,00 78					
1,1	0,002 61	0,004 66	0,016 73	0,048 78	0,196 83	1,06 89	7,42 95				
1,2	0,005 73	0,012 78	0,037 86	0,087 90	0,275 95	1,25 101	7,97 107	66,7 114			
1,3	0,021 86	0,045 91	0,123 99	0,244 103	0,589 108	1,04 114	9,73 120	72,3 127	726 135		
1,4	0,096 100	0,201 105	0,524 113	0,970 117	2,02 122	5,03 128	17,1 135	92,3 142	794 149	9550 157	
1,5	0,497 115	1,03 121	2,63 128	4,77 132	9,43 138	20,8 143	53,7 150	186 157	1070 164	+	+

1,6	2,90	5,97	15,1	27,1	52,8	112	263	711	2520	+	+
	131	137	144	149	154	160	166	173	180	+	+
1,7	19,1	39,2	98,5	176	339	712	1630	+	+	+	+
	148	154	161	166	171	177	183	+	+	+	+
1,8	143	291	727	1290	+	+	+	+	+	+	+
	167	172	180	184	+	+	+	+	+	+	+

Tabl. Z1.20. Transformatory średniej i dużej mocy, chłodzenie OD, t=1 h

Dopuszczalne obciążenia i odpowiadające im dobowe zużycie czasu życia (wyrażone w dobach „normalnych”).

W celu stwierdzenia, czy dobowy przebieg obciążenia scharakteryzowany wartościami K_1 i K_2 jest dopuszczalny, i oceny dobowego zużycia czasu życia należy postępować następująco:

Temperatura otoczenia	40°C	30°C	20°C	10°C	0°C	-10°C	-20°C	-25°C
Dobowe zużycie izolacji: Pomnóż wartość podaną w dolnej części tablicy przez współczynnik podany tutaj. Wynik należy zaokrąglić.	10	3,2	1	0,32	0,1	0,032	0,01	0,0055
Temperatura najgorętszego miejsca: Dodaj przyrost temperatury najgorętszego miejsca podany w tablicy do temperatury otoczenia. Jeśli temperatura najgorętszego miejsca przekracza wartość podaną w tabl. 4.1, obciążenie nie jest dopuszczalne.								

K_1	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50
K_2											
0,7	0,000	0,001	0,008								
	27	31	36								
0,8	0,000	0,001	0,008	0,032							
	36	40	45	48							
0,9	0,001	0,002	0,010	0,035	0,163						
	46	50	55	59	62						
1,0	0,002	0,004	0,015	0,045	0,183	1,00					
	58	62	67	70	74	78					
1,1	0,007	0,013	0,035	0,078	0,246	1,14	7,42				
	70	74	80	83	87	91	95				
1,2	0,030	0,054	0,123	0,221	0,500	1,65	8,65	66,7			
	84	88	94	97	101	105	109	114			
1,3	0,152	0,269	0,571	0,939	1,74	3,98	13,6	79,4	726		
	100	104	109	112	116	120	125	130	135		
1,4	0,893	1,56	3,23	5,14	8,85	17,0	39,4	137	884	9550	
	116	120	125	129	132	136	141	146	151	157	
1,5	6,08	10,5	21,4	33,6	66,4	102	204	483	1700	+	+

	134	138	143	146	150	154	159	164	169	175	181
1,6	48,0	82,3	165	257	426	754	1440	3000	+	+	+
	153	157	162	165	169	173	178	183	+	+	+
1,7	438	745	1480	+	+	+	+	+	+	+	+
	173	177	182	+	+	+	+	+	+	+	+

Tabl. Z1.21. Transformatory średniej i dużej mocy, chłodzenie OD, t=2 h

Dopuszczalne obciążenia i odpowiadające im dobowe zużycie czasu życia (wyrażone w dobach „normalnych”).

W celu stwierdzenia, czy dobowy przebieg obciążenia scharakteryzowany wartościami K_1 i K_2 jest dopuszczalny, i oceny dobowego zużycia czasu życia należy postępować następująco:

Temperatura otoczenia	40°C	30°C	20°C	10°C	0°C	-10°C	-20°C	-25°C
Dobowe zużycie izolacji: Pomnóż wartość podaną w dolnej części tablicy przez współczynnik podany tutaj. Wynik należy zaokrąglić.	10	3,2	1	0,32	0,1	0,032	0,01	0,0055
Temperatura najgorętszego miejsca: Dodaj przyrost temperatury najgorętszego miejsca podany w tablicy do temperatury otoczenia. Jeśli temperatura najgorętszego miejsca przekracza wartość podaną w tabl. 4.1, obciążenie jest niedopuszczalne.								

K_1	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50
K_2											
0,7	0,000 31	0,001 33	0,008 36								
0,8	0,001 42	0,002 44	0,009 47	0,032 48							
0,9	0,002 54	0,004 56	0,014 59	0,040 60	0,163 62						
1,0	0,010 68	0,015 70	0,032 72	0,067 74	0,209 76	1,00 78					
1,1	0,048 83	0,070 85	0,122 87	0,192 89	0,398 91	1,33 93	7,42 95				
1,2	0,278 99	0,395 101	0,639 104	0,894 105	1,41 107	2,93 109	10,4 112	66,7 114			
1,3	1,93 117	2,70 119	4,22 122	5,66 123	8,09 125	12,9 127	26,6 130	97,7 132	726 135		
1,4	15,9 136	22,0 138	33,7 141	44,3 143	61,1 144	89,6 147	145 149	297 152	1120 154	9550 157	

1,5	156	213	321	418	566	805	1210	1990	4070	+	+
	157	159	162	163	165	167	170	172	175	178	181
1,6	1800	2450	3650	+	+	+	+	+	+	+	+
	179	181	184	+	+	+	+	+	+	+	+

Tabl. Z1.22. Transformatory średniej i dużej mocy, chłodzenie OD, $t=4$ h

Dopuszczalne obciążenia i odpowiadające im dobowe zużycie czasu życia (wyrażone w dobach „normalnych”).

W celu stwierdzenia, czy dobowy przebieg obciążenia scharakteryzowany wartościami K_1 i K_2 jest dopuszczalny, i oceny dobowego zużycia czasu życia należy postępować następująco:

Temperatura otoczenia	40°C	30°C	20°C	10°C	0°C	-10°C	-20°C	-25°C
Dobowe zużycie izolacji: Pomnóż wartość podaną w dolnej części tablicy przez współczynnik podany tutaj. Wynik należy zaokrąglić.	10	3,2	1	0,32	0,1	0,032	0,01	0,0055

Temperatura najgorętszego miejsca:

Dodaj przyrost temperatury najgorętszego miejsca podany w tablicy do temperatury otoczenia. Jeśli temperatura najgorętszego miejsca przekracza wartość podaną w tabl. 4.1, obciążenie nie jest dopuszczalne.

$K_1 \backslash K_2$	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50
0,7	0,001 35	0,002 35	0,008 36								
0,8	0,003 47	0,004 47	0,011 48	0,032 48							
0,9	0,011 60	0,014 61	0,024 61	0,049 62	0,163 62						
1,0	0,054 75	0,065 76	0,091 76	0,130 77	0,271 77	1,00 78					
1,1	0,334 92	0,392 93	0,500 93	0,610 94	0,863 94	1,80 95	7,42 95				
1,2	2,50 110	2,90 111	3,56 112	4,12 112	5,03 113	7,01 113	14,6 114	66,7 114			
1,3	22,7 130	26,0 131	31,2 131	35,4 132	41,3 132	50,6 133	69,9 134	145 134	726 135		
1,4	248	281	334	374	429	505	622	853	1740	9550	

1,5	152	152	153	153	154	155	155	156	157	157	
	3270	3690	4330	4810	5440	6300	7490	9300	+	+	+
	175	175	176	177	177	178	178	179	180	180	181

Tabl. Z1.23. Transformatory średniej i dużej mocy, chłodzenie OD, t=8 h

Dopuszczalne obciążenia i odpowiadające im dobowe zużycie czasu życia (wyrażone w dobach „normalnych”).

W celu stwierdzenia, czy dobowy przebieg obciążenia scharakteryzowany wartościami K_1 i K_2 jest dopuszczalny, i oceny dobowego zużycia czasu życia należy postępować następująco:

Temperatura otoczenia	40°C	30°C	20°C	10°C	0°C	-10°C	-20°C	-25°C
Dobowe zużycie izolacji: Pomnóż wartość podaną w dolnej części tablicy przez współczynnik podany tutaj. Wynik należy zaokrąglić.	10	3,2	1	0,32	0,1	0,032	0,01	0,0055

Temperatura najgorętszego miejsca:

Dodaj przyrost temperatury najgorętszego miejsca podany w tablicy do temperatury otoczenia. Jeśli temperatura najgorętszego miejsca przekracza wartość podaną w tabl. 4.1, obciążenie nie jest dopuszczalne.

K_1	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50
K_2											
0,7	0,002 36	0,003 36	0,008 36								
0,8	0,008 48	0,009 48	0,015 48	0,032 48							
0,9	0,036 62	0,039 62	0,049 62	0,071 62	0,163 62						
1,0	0,204 78	0,218 78	0,247 78	0,285 78	0,407 78	1,00 78					
1,1	1,42 95	1,50 95	1,64 95	1,76 95	2,02 95	2,85 95	7,42 95				
1,2	12,0 114	12,6 114	13,5 114	14,3 114	15,3 114	17,4 114	24,3 114	66,7 114			
1,3	123 135	129 135	137 135	143 135	151 135	162 135	183 135	252 135	726 135		

1,4	1540	1590	1680	1740	1820	1930	2080	2340	3170	9550	
	157	157	157	157	157	157	157	157	157	157	
1,5	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	181	181	181	181	181	181	181	181	181	181	181

Tabl. Z1.24. Transformatory średniej i dużej mocy, chłodzenie OD, $t=24$ h

Dopuszczalne obciążenia i odpowiadające im dobowe zużycie czasu życia (wyrażone w dobach „normalnych”).

W celu stwierdzenia, czy dobowy przebieg obciążenia scharakteryzowany wartościami K_1 i K_2 jest dopuszczalny, i oceny dobowego zużycia czasu życia należy postępować następująco:

Temperatura otoczenia	40°C	30°C	20°C	10°C	0°C	-10°C	-20°C	-25°C
Dobowe zużycie izolacji: Pomnóż wartość podaną w dolnej części tablicy przez współczynnik podany tutaj. Wynik należy zaokrąglić.	10	3,2	1	0,32	0,1	0,032	0,01	0,0055
Temperatura najgorętszego miejsca: Dodaj przyrost temperatury najgorętszego miejsca podany w tablicy do temperatury otoczenia. Jeśli temperatura najgorętszego miejsca przekracza wartość podaną w tabl. 4.1, obciążenie nie jest dopuszczalne.								

K_2	
0,7	0,008 36
0,8	0,032 48
0,9	0,163 62
1,0	1,00 78
1,1	7,42 95
1,2	66,7 114
1,3	726 135

1,4	9550
	157
1,5	+
	181