



Paweł Śmiech
v. 20231129

Bezpieczeństwo eksploatacji maszyn elektrycznych

Zagadnienia wybrane

Część II – montaż wyposażenia elektrycznego
maszyn



Licencja: CC BY-NC-ND 4.0

Cele i założenia prezentacji

Celem prezentacji jest zwiększenie bezpieczeństwa eksploatacji urządzeń elektrycznych. Prezentacja jest przeznaczona dla osób wykonujących prace eksploatacyjne przy maszynach.

Prezentacja zawiera informacje dotyczące doboru i montażu wyposażenia elektrycznego maszyn oraz obliczeń związanych z doбором i montażem wyposażenia.

W ostatnim rozdziale dotyczącym schematów połączeń zostały podane symbole elektryczne używane w schematach połączeń.

Założenia prezentacji:

- prezentacja zawiera podstawowe informacje techniczne, które nie są wystarczające do projektowania instalacji elektrycznych maszyn;
- prezentacja została opracowana na podstawie przepisów prawa powszechnego i zasad wiedzy technicznej;
- poprawność informacji nie jest gwarantowana;
- prezentacja dotyczy maszyn, do których stosuje się normę PN-EN 60204-1;
- prezentacja obejmuje zagadnienia wybrane.

Spis treści

- Podstawowe funkcje układu sterowania maszyn
- Urządzenia do odłączenia izolacyjnego zasilania
- Przewody
- Obciążalność prądowa długotrwała przewodów
- Przewody ochronne
- Przewody wyrównawcze
- Przewody neutralne
- Zestawy rozdzielnic i sterownicy
- Obwody główne zestawów
- Obwody pomocnicze zestawów
- Narażenia zwarciove
- Narażenia napięciowe
- Ograniczniki przepięć
- Zabezpieczenia nadprądowe i różnicowoprądowe
- Koordynacja zabezpieczeń
- Przykłady prawidłowego i nieprawidłowego doboru podstawowego wyposażenia rozdzielnic maszyn
- Schematy elektryczne
- Bibliografia

Podstawowe funkcje układu sterowania maszyn

Wymagania prawne

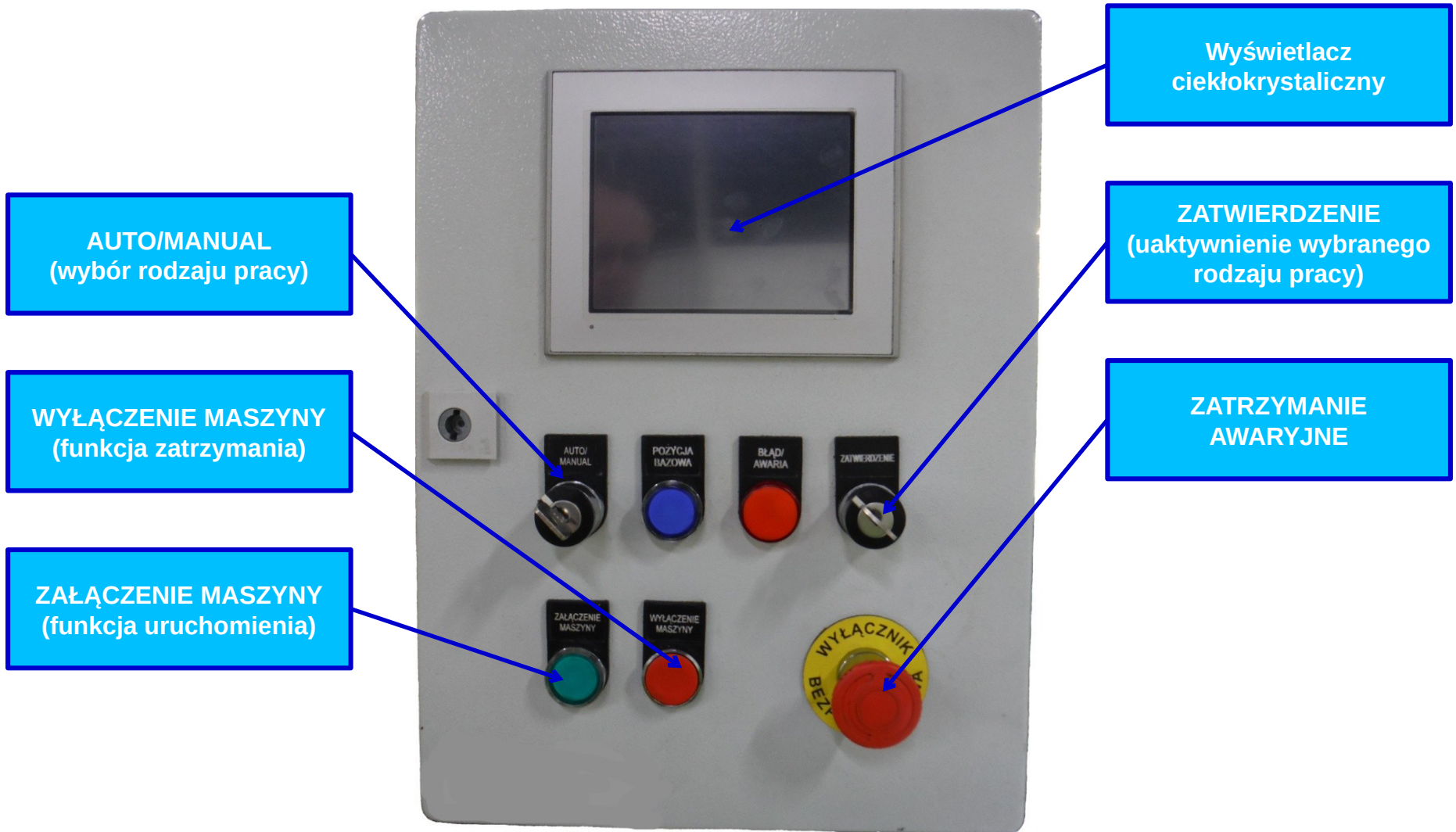
Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 21 października 2008 r. w sprawie zasadniczych wymagań dla Maszyn (Dz.U. 2008 nr 199 poz. 1228).

§ 18. 1. Układy sterowania należy projektować tak, aby:

- 1) zapewniały bezpieczeństwo oraz zapobiegały powstawaniu sytuacji zagrożenia;*
- 2) defekty sprzętu komputerowego i oprogramowania układu sterowania nie prowadziły do powstania sytuacji niebezpiecznych;*
- 3) były odporne na obciążenia wynikające z zamierzonego zastosowania i wpływy czynników zewnętrznych;*
- 4) błędy w układach logicznych nie doprowadzały do powstania sytuacji niebezpiecznych;*
- 5) możliwe do przewidzenia błędy ludzkie w trakcie pracy nie prowadziły do powstania sytuacji niebezpiecznych.*

Podstawowe funkcje układu sterowania maszyn

Przykład wyposażenia sterownicy

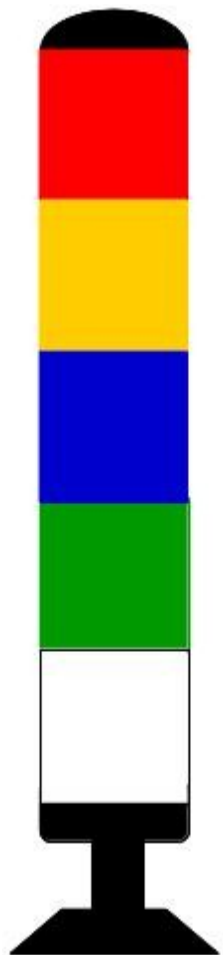


Podstawowe funkcje układu sterowania maszyn

Kodowanie barwami przycisków sterowniczych

Barwa	Znaczenie	Objaśnienie	Przykłady zastosowania
Czerwona	Awaria	Pobudzany w stanie zagrożenia lub awarii	Zatrzymanie awaryjne. Uruchamianie funkcji awaryjnej.
Żółta	Nienormalny	Pobudzany w stanie nienormalnym	Interwencja w celu likwidacji stanu nienormalnego. Interwencja w celu uruchomienia przerwanej cyklu samoczynnego
Niebieska	Obowiązkowy	Pobudzany w stanie wymagającym obowiązkowego działania	Funkcja resetu
Zielona	Normalny	Pobudzany do wprowadzania stanów normalnych	URUCHOMIENIE (niezalecana)
Biała			URUCHOMIENIE/I (preferowana) ZATRZYMANIE/O
Szara	Nie przypisano znaczenia	Do ogólnego uruchamiania funkcji z wyjątkiem zatrzymania awaryjnego	URUCHOMIENIE/I ZATRZYMANIE/O
Czarna			URUCHOMIENIE/I ZATRZYMANIE/O (preferowana)

Kolumny sygnalizacyjne



Kolumny sygnalizacyjne maszyn powinny mieć barwy w kolejności od góry:
CZERWONA, ŻÓŁTA, NIEBIESKA, ZIELONA i BIAŁA.

Podstawowe funkcje układu sterowania maszyn

Symbole łączników sterowniczych



URUCHOMIENIE
(zasilanie maszyny)



ZATRZYMANIE
(zasilanie maszyny)



Przyciski działające
zamiennie jako
URUCHOMIENIE lub
ZATRZYMANIE
(zasilanie maszyny)



Przyciski działające
jako **URUCHOMIENIE**,
gdy są wciśnięte i jako
ZATRZYMANIE
gdy są zwolnione - tzw.
podtrzymanie ruchu
(zasilanie i sterowanie
maszyną)



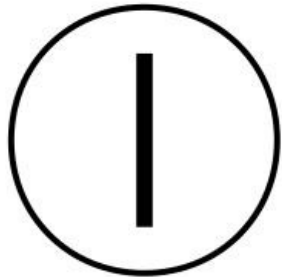
URUCHOMIENIE
(sterowanie maszyną)



ZATRZYMANIE
(sterowanie maszyną)



ZATRZYMANIE
AWARYJNE
(zasilanie i sterowanie
maszyną)



URUCHOMIENIE (Dz.U. 2008 nr 199 poz. 1228)

§ 22. 1. Uruchomienie maszyny powinno być możliwe tylko przez zamierzone włączenie urządzenia sterującego przewidzianego do tego celu.

Uruchomienie powinno być możliwe tylko wtedy gdy wszystkie wymagane funkcje bezpieczeństwa i/lub urządzenia ochronne są na swoim miejscu i prawidłowo funkcjonują.



ZATRZYMANIE (Dz.U. 2008 nr 199 poz. 1228)

§ 23. 2. Każde stanowisko robocze powinno być wyposażone w urządzenie sterujące umożliwiające zatrzymanie, w zależności od istniejących zagrożeń, niektórych lub wszystkich funkcji maszyny tak, aby maszyna pozostawała bezpieczna. Sterowanie zatrzymaniem powinno mieć pierwszeństwo w stosunku do sterowania uruchamianiem.

§ 23. 3. Z chwilą zatrzymania maszyny lub jej niebezpiecznych funkcji, zasilanie odpowiednich napędów uruchamiających powinno zostać odłączone.

§ 23. 4. W przypadku gdy z przyczyn eksploatacyjnych wymagany jest element sterowniczy zatrzymujący, który nie odłącza zasilania odpowiednich napędów uruchamiających, stan zatrzymania musi być monitorowany i utrzymywany.

Podstawowe funkcje układu sterowania maszyn

Kategorie zatrzymania

Kategoria zatrzymania 0 – zatrzymanie przez niezwłoczne odłączenia zasilania napędów maszyny (zatrzymanie niekontrolowane).

Kategoria zatrzymania 1 – zatrzymanie kontrolowane przy zasilaniu napędów maszyny i odłączenie zasilania po ich zatrzymaniu.

Kategoria zatrzymania 2 – zatrzymanie kontrolowane przy pozostawionym zasilaniu napędów po zatrzymaniu maszyny.

Wybór odpowiedniej kategorii zatrzymania powinien być dokonany w oparciu o oszacowanie ryzyka jakie stwarza maszyna.

Funkcje zatrzymania powinny mieć pierwszeństwo nad odpowiednimi funkcjami uruchomienia.

Stacje operatorskie powinny zawierać oddzielne i wyraźnie oznaczone środki do włączenia funkcji zatrzymania maszyny lub wszystkich działań, które mogą spowodować sytuacje zagrożenia. Elementy wykonawcze do włączania tych funkcji zatrzymania nie powinny być oznakowane lub etykietowane jako urządzenia zatrzymania awaryjnego nawet wtedy, gdy włączana w maszynie funkcja zatrzymania może wypełnić funkcję zatrzymania awaryjnego.

Podstawowe funkcje układu sterowania maszyn

Zatrzymanie awaryjne

Dz.U. 2008 nr 199 poz. 1228

§ 24. 1. *Maszyna powinna być wyposażona w co najmniej jedno urządzenie do zatrzymywania awaryjnego, umożliwiające wyeliminowanie zaistniałego niebezpieczeństwa lub zapobieżenie jego wystąpieniu.*

§ 24. 4. *Z chwilą ustania aktywnego działania urządzenia do zatrzymania awaryjnego po wygenerowaniu sygnału zatrzymania, sygnał ten powinien być podtrzymany przez zablokowanie tego urządzenia, aż do chwili, w której zostanie ono w sposób zamierzony odblokowane.*

§ 24. 7. *Urządzenia do zatrzymywania awaryjnego powinny wspomagać, a nie zastępować pozostałe środki zabezpieczające.*

Zatrzymanie awaryjne powinno działać jako zatrzymanie kategorii 0 lub 1. Kategorię zatrzymania ustala się w oparciu o oszacowanie ryzyka jakie stwarza maszyna.

Zatrzymanie awaryjne poza wymaganiami dla zatrzymania powinno dodatkowo:

- mieć pierwszeństwo nad wszystkimi innymi funkcjami;
- odłączać zasilanie od napędów które mogą powodować zagrożenie zgodnie z kategorią zatrzymania 0 lub 1 bez powodowania innych zagrożeń;
- reset nie powinien powodować ponownego uruchomienia.



Podtrzymanie ruchu

Dz.U. 2008 nr 199 poz. 1228

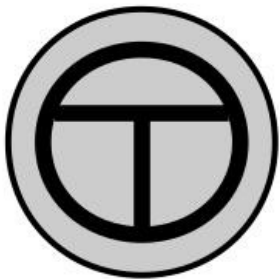
§ 26. 4. Jeżeli w celu wykonania niektórych czynności maszyna powinna mieć możliwość działania przy niezamkniętych lub usuniętych osłonach bądź przy wyłączonych urządzeniach ochronnych, przełącznik wyboru trybu sterowania lub pracy powinien jednocześnie:

- 1) unieruchomić wszystkie inne tryby sterowania lub pracy;
- 2) zezwalać na uruchomienie niebezpiecznych funkcji wyłącznie za pomocą urządzeń sterujących wymagających stałego podtrzymania;
- 3) zezwalać na uruchomienie niebezpiecznych funkcji wyłącznie w warunkach obniżonego ryzyka przy jednoczesnym zapobieganiu zagrożeniom wynikającym ze sprzężonych sekwencji;
- 4) uniemożliwić uruchamianie niebezpiecznych funkcji mogących spowodować zagrożenie przez oddziaływanie w sposób zamierzony lub niezamierzony.

§ 26. 5. Jeżeli warunki, o których mowa w ust. 4 nie mogą być spełnione jednocześnie, przełącznik wyboru trybu sterowania lub pracy maszyny powinien uruchomić pozostałe środki ochronne zapewniające bezpieczeństwo w strefie działania operatora.

Podtrzymanie ruchu

Sterowanie podtrzymaniem ruchu – działanie w wyniku ciągłego pobudzania urządzenia sterującego. Sterowanie podtrzymaniem ruchu może być osiągnięte za pomocą sterowania oburęcznego.



Sterownie oburęczne

Rodzaj I:

- stosowanie dwóch urządzeń sterujących jednocześnie pobudzanych za pomocą obu rąk;
- ciągłe pobudzanie podczas stanu zagrożenia;
- przerwanie działania maszyny po zwolnieniu jednego lub obu urządzeń sterujących, jeżeli wciąż istnieje stan zagrożenia.

Rodzaj II, wymagania jak dla rodzaju I i dodatkowo wymagane zwolnienie obu urządzeń sterujących przed ponownym uruchomieniem maszyny.

Rodzaj III, wymagania jak dla rodzaju II i dodatkowo wymagane jednoczesne pobudzanie urządzeń sterujących w następujący sposób:

- pobudzenie urządzeń jedno po drugim powinno się odbywać w czasie nie dłuższym niż 0,5 s;
- jeżeli ten czas zostanie przekroczony, wymagane jest zwolnienie obu urządzeń sterujących przed ponownym uruchomieniem maszyny.

Podstawowe funkcje układu sterowania maszyn

Rodzaj pracy

Maszyna może mieć jeden lub więcej rodzajów pracy, określonych typem maszyny i jej zastosowaniem. Jeżeli wybrany rodzaj pracy może spowodować warunki zagrożenia, to należy uniemożliwić wybór nieuprawniony i/lub nieumyślny (np. łącznik uruchamiany kluczem, kod dostępu).

Wybór rodzaju pracy nie powinien inicjować pracy maszyny, powinno być wymagane odrębne uaktywnienie funkcji uruchamiania.

Wybrany rodzaj pracy powinien być wskazany za pomocą: wskazania położenia przełącznika rodzaju pracy, wskaźnika świetlnego, wyświetlacza.

Dz.U. 2008 nr 199 poz. 1228

§ 26. 1. Wybrany tryb sterowania lub pracy powinien być nadrzędny w stosunku do innych trybów sterowania lub pracy, z wyjątkiem zatrzymywania awaryjnego.

Urządzenia do odłączenia izolacyjnego

Wymagania podstawowe

Urządzenie odłączające (izolujące) od zasilania powinno być zastosowane:

- przy każdym zewnętrznym źródle zasilania maszyny;
- przy każdym źródle zasilania znajdującym się na maszynie.

Urządzeniem odłączającym od zasilania może być:

- rozłącznik lub rozłącznik bezpiecznikowy, zgodny z normą IEC 60947-3, w kategorii użytkowania AC-23B lub DC-23B;
- odłącznik lub odłącznik bezpiecznikowy, zgodny z normą IEC 60947-3, który jest wyposażony w dodatkowy zestyk powodujący zadziałanie łączników samoczynnych i odłączenie obwodów obciążenia przed otwarciem zestyków głównych;
- wyłącznik samoczynny zgodny z normą IEC 60947-2;
- inne urządzenie łączeniowe, które spełnia wymagania odnośnie izolowania zawarte w normie IEC 60947-1 o kategorii użytkowania odpowiedniej do odłączania pod obciążeniem silników i innych urządzeń indukcyjnych.

Urządzenie odłączające od zasilania powinno mieć możliwość zablokowania w stanie otwartym (np. za pomocą kłódki).

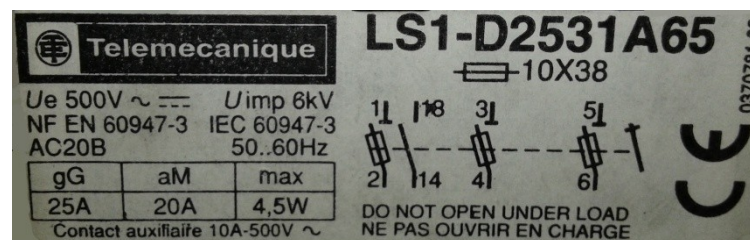
Element napędowy (np. rękojeść) urządzenia do odłączania izolacyjnego powinien znajdować się na wysokości 0,6 – 1,9 m nad poziomem obsługi. Zalecana wysokość elementu napędowego wynosi 1,7 m.

Urządzenia do odłączenia izolacyjnego

Odłącznik bezpiecznikowy

Jeżeli urządzenie do odłączania izolacyjnego maszyn pełni również rolę urządzenia do odłączania prądów roboczych to urządzenie takie powinno być zdolne do wyłączenia prądu największego silnika w stanie zahamowania oraz prądów roboczych pozostałych silników i/lub innych urządzeń. Odłączniki stosowane w tym celu powinny mieć dodatkowy zestyk pomocniczy, który spowoduje otwarcie odpowiednich łączników samoczynnych i odłączenie obciążenia przed otwarciem zestyków głównych odłącznika.

Ruchy związane z otwieraniem i zamykaniem odłącznika bezpiecznikowego nie powinny być wykonywane szybko. W wersji normy PN-EN 60204-1 z roku 2018 w przeciwieństwie do wersji z roku 2010, odłączniki izolacyjne bezpiecznikowe nie zostały wymienione jako urządzenia do odłączenia zasilania maszyn. Wersja normy z roku 2010 pozostaje zharmonizowana z dyrektywami MD i LVD do daty podanej w Dzienniku Urzędowym UE.



Odłącznik bezpiecznikowy izolacyjny i jego tabliczka znamionowa. Odłącznik ma zestyk pomocniczy przeznaczony do obwodów sterowniczych. W czasie otwierania odłącznika przed otwarciem zestyków głównych zostaje otwarty zestyk pomocniczy. W czasie zamykania odłącznika najpierw zostają zamknięte zestyki główne.

Urządzenia do odłączenia izolacyjnego

Rozłącznik izolacyjny bezpiecznikowy

Rozłączniki są przeznaczone do załączania i wyłączania prądów roboczych i prądów przeciążeniowych nie przekraczających 10-krotnej wartości prądu znamionowego ciągłego (I_u).

Po wyjęciu wkładek topikowych łącznik stanowi widoczną przerwę w obwodzie, co jest ważne ze względu na bezpieczeństwo prac przy wyłączonym napięciu. Ruchy związane z otwieraniem i zamykaniem rozłącznika bezpiecznikowego powinny być wykonywane szybko, ze względu na wartość znamionowego prądu wyłączalnego (I_e).

AC-22B – Kategoria użytkowania niskonapięciowej aparatury rozdzielczej i sterowniczej:

AC-22 – łączenie obciążeń mieszanych rezystancyjnych i indukcyjnych, również z umiarkowanymi przeciążeniami przy prądzie przemiennym (AC);

B – ochrona obwodów z przypisanym prądem znamionowym krótkotrwałym Wytrzymawanym.



Urządzenia do odłączenia izolacyjnego

Łącznik izolacyjny wielozadaniowy

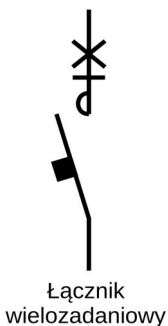
Łączniki wielozadaniowe spełniają funkcje urządzenia zabezpieczającego i sterowniczego. Norma PN-EN 60204-1:2018-12 wymienia łączniki wielozadaniowe jako urządzenia, które mogą być stosowane do odłączania zasilania maszyn.



Łącznik wielozadaniowy

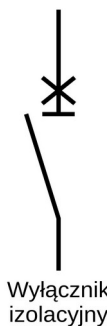


Symbol łącznika wielozadaniowego



Łącznik wielozadaniowy

=



Wyłącznik izolacyjny

+



Stycznik o wyzwaniu samoczynnym

Urządzenia do odłączenia izolacyjnego

Wyłączenie awaryjne

Urządzenie do odłączania zasilania może również pełnić rolę urządzenia do awaryjnego wyłączenia zasilania.

Urządzenie do wyłączenia awaryjnego jest przeznaczone do wyłączenia zasilania energią elektryczną całej instalacji lub jej części, gdy zachodzi ryzyko porażenia elektrycznego lub inne ryzyko pochodzenia elektrycznego.

Urządzenie do odłączania zasilania realizuje w czasie działania zatrzymanie kategorii 0. Jeżeli ze względu na specyfikę maszyny nie można zastosować zatrzymania kategorii 0, to może być konieczne zastosowanie innych środków ochrony.

Element napędowy urządzenia do odłączania zasilania przewidziany do funkcji wyłączenia awaryjnego powinien być barwy CZERWONEJ, a tło powinno być barwy ŻÓLTEJ.







Rozłącznik izolacyjny przeznaczony do funkcji wyłączenia awaryjnego

Przewody

Barwy przewodów

Zgodnie z normą PN-EN 60204:2010 Bezpieczeństwo maszyn – Wyposażenie elektryczne maszyn – Część: 1 Wymagania ogólne, w obwodach maszyn zaleca się stosownie barw przewodów podanych w tabeli.

Barwy przewodów w instalacjach maszyn

Barwa przewodu		Objaśnienie Przykłady zastosowania
	Czarna	Obwody główne prądu przemiennego i prądu stałego
	Czerwona	Obwody sterowania prądu przemiennego
	Niebieska	Obwody sterowania prądu stałego
	Pomarańczowa	Obwody pomocnicze pozostające pod napięciem po odłączeniu izolacyjnym wyposażenia np. obwody blokad i uzależnień, obwody oświetlenia i gniazd wtyczkowych przeznaczone do prac konserwacyjnych

Jeżeli do identyfikacji przewodów (innych niż przewody neutralne i przewody połączeń ochronnych) zastosowano kodowanie barwami, to mogą być użyte barwy:

CZARNA, BRĄZOWA, CZERWONA, POMARAŃCZOWA, ŻÓŁTA, ZIELONA, NIEBIESKA, FIOLETOWA, SZARA, BIAŁA, RÓŻOWA, TURKUSOWA.

Przewody

Oznaczenia przewodów

Sposób oznaczenia napięcia znamionowego przewodów U_o/U (np. 450/750 V):

U_o – znamionowe napięcie przewodu względem ziemi;

U – znamionowe napięcie międzyprzewodowe.

H – przewód wykonany wg norm harmonizacyjnych
07 – napięcie znamionowe 450/750 V
R – izolacji żyły wykonana z gumy naturalnej
N – izolacja powłoki wykonana z gumy polichloropropylenowej
F – żyła wielodrutowa giętka do odbiorników ruchomych

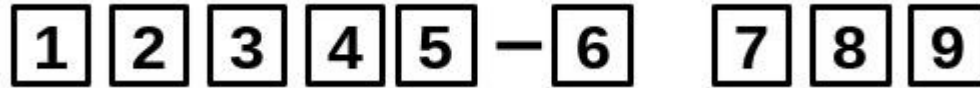
3 – ilość żył
G – obecność żyły ochronnej
2,5 – przekrój przewodu w mm²



Przewód wielożyłowy
H07RN-F 3G2,5

Przewody

Oznaczenia przewodów



1 – rodzaj normy:

H – norma harmonizacyjna

2 – napięcie znamionowe (U_0/U):

01 – 100/100 V

03 – 300/300 V

05 – 300/500 V

07 – 450/750 V

11 – 600/1000V

Materiał izolacji żyły (**3**) i powłoki (**4**):

B – guma etylenowo-propylenowa

R – guma naturalna lub guma styrenowo-butadienowa

S – silikon

V – polichlorek winylu

N – guma plichloropropylenowa

5 – informacje uzupełniające

6 – rodzaj żyły:

D – wielodrutowa do przewodów spawalniczych

F – wielodrutowa giętka do odbiorników ruchomych (kl.5)

H – wielodrutowa bardzo giętka do odbiorników ruchomych (kl.6)

K – wielodrutowa giętka do układania na stałe (kl.5)

R – wielodrutowa sztywna (kl.2)

U – jednodrutowa sztywna (kl. 1)

7 – ilość żył w przewodzie

8 – obecność żyły ochronnej:

X – brak żyły ochronnej

G – obecność żyły ochronnej

9 – przekrój żyły w mm^2

Przewody

Montaż przewodów

Przewody należy montować w sposób zapewniający ochronę przed dającymi się przewidzieć warunkami środowiskowymi wszystkim częścią oprzewodowania.

Izolowane przewody jednożyłowe bez powłoki zewnętrznej w instalacjach stałych, za wyjątkiem przewodów ochronnych, powinny być prowadzone w rurach instalacyjnych lub w listwach instalacyjnych.

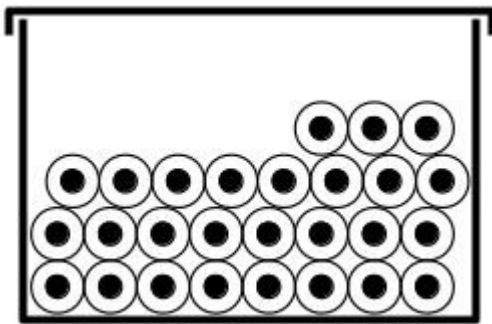
Uchwyty do mocowania przewodów i obudowy nie mogą mieć ostrych krawędzi które mogą uszkadzać przewody.

Połączenia lutowane mogą być stosowane wyłącznie w przypadku zacisków przystosowanych do lutowania.

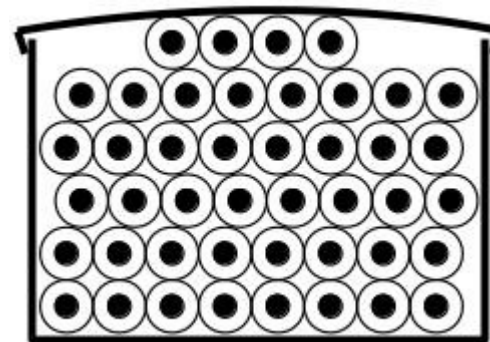
Zaciski w listwach zaciskowych powinny być oznaczone zgodnie ze schematami.

Montaż przewodów giętkich należy wykonać tak aby ciecze mogły spływać z osprzętu.

Przewody należy prowadzić od zacisku do zacisku, bez połączeń pośrednich.



Prawidłowy sposób ułożenia przewodów ze względu na wypełnienie listw instalacyjnych - wypełnienie nie przekracza 70 %.



Nieprawidłowy sposób ułożenia przewodów w listwie instalacyjnej - listwa całkowicie wypełniona

Przewody

Montaż przewodów

Przyłączenie maszyny do źródła zasilania można wykonać przewodami wielożyłowymi, np.: **H07RN-F 450/750V**, **H07BB-F 450/750V** lub jednożyłowymi np. **YKY 0,6/1 kV**.

Zewnętrzne warstwy ochronne przewodów mogą być usuwane tylko z tych części przewodu, które po przyłączeniu będą niedostępne. Metalowe warstwy ochronne przewodów należy usunąć i zakończyć w takich miejscach i w taki sposób, aby nie mogły zetknąć się z częściami czynnymi. Żył przewodu powinna być pozbawiona izolacji tylko na długości niezbędnej do prawidłowego połączenia z zaciskiem. Nie należy pozostawiać nadmiaru długości gołej żyły przed lub za zaciskiem. Koniec żyły wielodrutowej należy zabezpieczyć np. zaciskaną tulejką, przed możliwością oddzielenia się poszczególnych drutów lub skrętek. Końce żył przewodów wprowadzone do wnętrza urządzenia, a niewykorzystywane należy unieruchomić i izolować. Przewody nie powinny przenosić naciągu na nieprzystosowane do tego zaciski.

W przypadku przyłączania urządzeń ruchomych i stacjonarnych oraz urządzeń stałych zasilanych przewodem ruchomym należy przyłączać urządzenie jednym przewodem wielożyłowym o stosownej liczbie żył. Jeżeli do urządzenia ma być przyłączony przewód ochronny PE, powinien stanowić on osobną żyłę przewodu zasilającego.

W miejscu wprowadzenia do wnętrza urządzenia przewód ruchomy powinien być chroniony przed uszkodzeniem przez krawędź otworu przepustowego oraz przed nadmiernym przegięciem. Zaleca się przepusty z materiału izolacyjnego. Nie należy stosować przegiętek metalowych.

Przewody

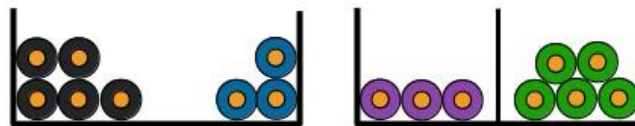
Montaż przewodów

Obwody prądu przemiennego powinny być wykonane w sposób zapobiegający powstawaniu prądów wirowych. Obwody prądu przemiennego w obudowach ferromagnetycznych powinny być tak montowane aby wszystkie przewody obwodu łącznie z przewodem ochronnym znajdowały się w tej samej obudowie. Przewody obwodów prądu przemiennego powinny być tak wprowadzane do obudów ferromagnetycznych, aby wszystkie przewody obwodów były łącznie objęte materiałem ferromagnetycznym.

- Przewody obwodów głównych
- Przewody obwodów sterowniczych
- Przewody informatyczne
- Przewody pomiarowe



niezalecane



poprawne



najlepsze

Sposoby rozmieszczenia przewodów

Przewody

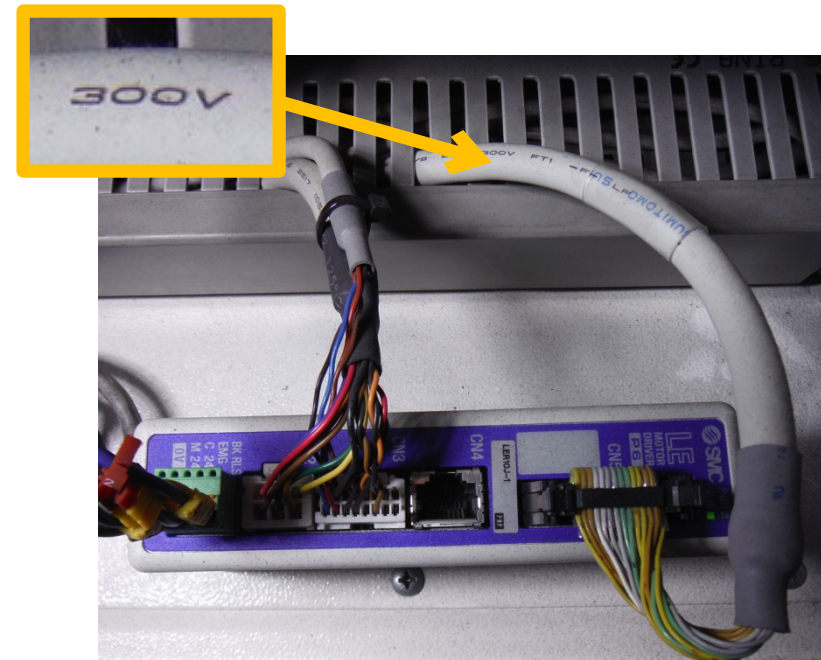
Przewody prowadzone wspólnie

Przewody należące do różnych obwodów mogą być prowadzone obok siebie, w tych samych kanałach rurach i listwach instalacyjnych lub mogą być żyłami tego samego przewodu wielożyłowego, pod warunkiem, że takie rozmieszczenie nie zakłóci działania każdego z obwodów.

Jeżeli obwody te są zasilane napięciami o różnej wartości, to przewody powinny być oddzielone odpowiednimi przegrodami albo izolowane na najwyższe występujące napięcie.



Przewód wielożyłowy obwodów ELV prowadzony w listwie instalacyjnej z przewodami obwodów LV. Na odcinku wspólnym przewód został pozbawiony powłoki zewnętrznej – montaż nieprawidłowy.



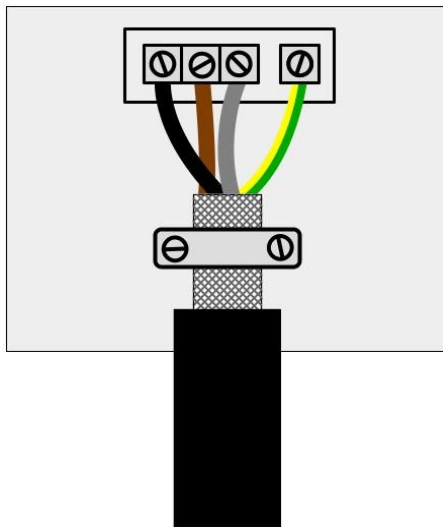
Przewód wielożyłowy obwodów ELV prowadzony w listwie instalacyjnej z przewodami obwodów LV. Na odcinku wspólnym przewód posiada powłokę zewnętrzną o izolacji na 300 V – montaż prawidłowy.

Przewody

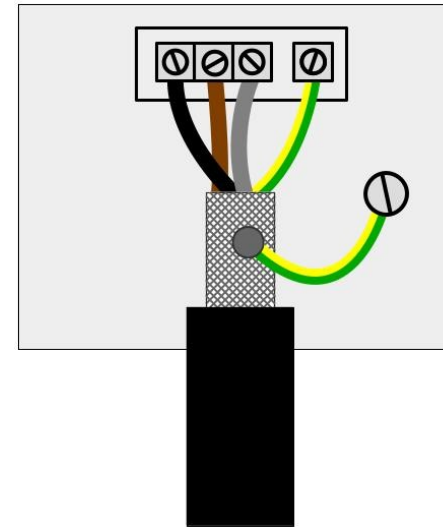
Kompatybilność elektromagnetyczna

Zwiększenie odporności oprzewodowania na zakłócenia EMC można uzyskać przez:

- stosowanie przewodów ze skręconymi żyłami w celu zmniejszenia skutków zaburzeń niesymetrycznych;
- utrzymywanie odpowiednich odległości pomiędzy przewodami emitującymi zaburzenia a przewodami obwodów czułych;
- stosowanie krzyżowania przewodów pod kątem najbliższym kąta prostego, jeżeli jest to wykonalne;
- prowadzenie przewodów równoległe do masy i jak najbliżej niej;
- stosowanie ekranów i osłon elektromagnetycznych o zakończeniach o jak najmniejszej impedancji.



Prawidłowy sposób przyłączenie ekranu do płyty montażowej za pomocą obejmy metalowej



Nieprawidłowy sposób przyłączenie ekranu do płyty montażowej na „świński ogonek”

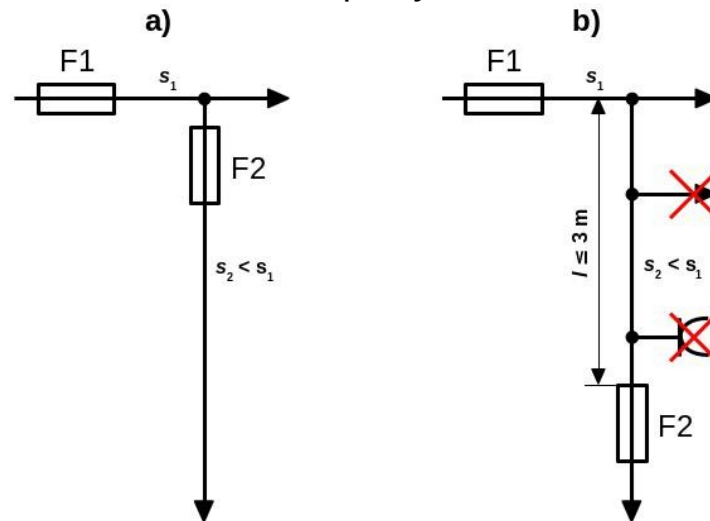
Przewody

Lokalizacja urządzeń zabezpieczających przed zwarcieniem

Urządzenie zabezpieczające przed zwarcieniem powinno być zamontowane w miejscu zmniejszenia przekroju przewodu lub w miejscu, w którym inne czynniki zmieniają temperaturę graniczną dopuszczalną długotrwale.

W miejscach, w których przewód nie posiada odgałęzień i gniazd wtyczkowych, urządzenie zabezpieczające przed zwarcieniem może być zamontowane w innym miejscu jeżeli:

- długość przewodu do miejsca w którym znajduje się zabezpieczenie zwarciovie nie przekracza 3 m;
- przewód jest zainstalowany w sposób ograniczający do minimum ryzyko spowodowania zwarcia;
- przewód nie jest umieszczony w pobliżu materiałów łatwopalnych.



Zabezpieczenie zwarciovie przewodu: a) w miejscu zmniejszenia przekroju przewodu; b) warunkowo w innym miejscu.

Przewody

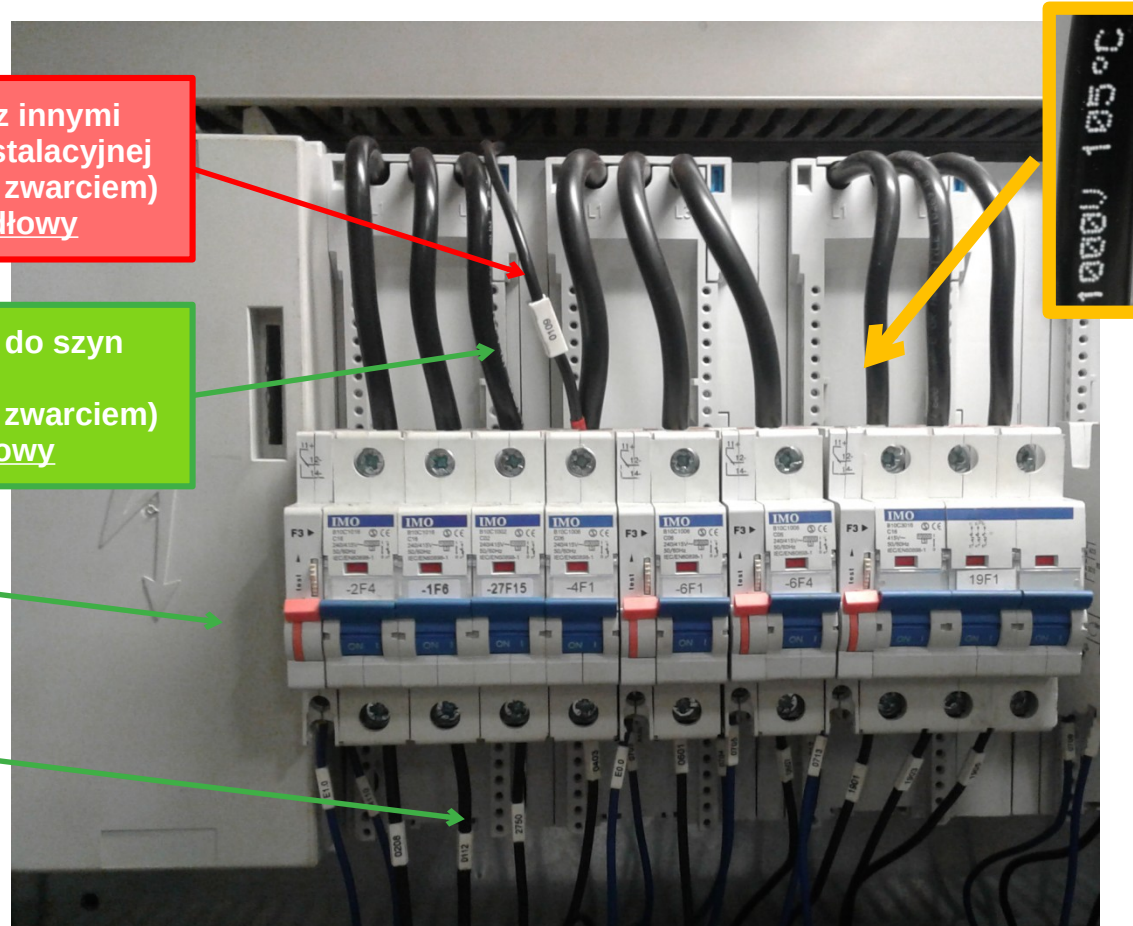
Lokalizacja urządzeń zabezpieczających przed zwarciem

Przewód prowadzony z innymi przewodami w listwie instalacyjnej (niezabezpieczony przed zwarciem) – montaż nieprawidłowy

Przewody przyłączone do szyn zbiorczych (niezabezpieczone przed zwarciem) – montaż prawidłowy

Szyny zbiorcze pod osłoną izolacyjną

Przewody obwodów głównych



Przykład rozwiązania obwodu rozdzielczego maszyny – pod osłoną izolacyjną, na której zamontowane są wyłączniki znajdują się szyny zbiorcze. Połączenia szyn z wyłącznikami wykonane są przewodami o izolacji na 1000 V i temperaturze granicznej dopuszczalnej długotrwale 105 °C.

Przewody

Dobór przekroju przewodu ze względu na obciążalność prądem roboczym

Dobór przekroju przewodu powinien uwzględniać obciążalność prądową przejściową (I_p) lub długotrwałą (I_z) i jest związany z cieplnym oddziaływaniem przepływającego prądu.

Przyrost temperatury przewodów przewodzących prąd roboczy zależy od wielu czynników np.:

- **obliczeniowa temperatura otoczenia** (τ_o) – najwyższa temperatura występująca stale lub przejściowo w miejscu eksploatacji z uwzględnieniem warunków klimatycznych;
- **temperatura graniczna dopuszczalna długotrwałe** (τ_{dd}) – najwyższa dopuszczalna temperatura przewodów w nieograniczonym czasie, uzależniona od materiału izolacji, np. dla przewodów o izolacji z PVC $\tau_{dd} = 70 \text{ °C}$;
- **temperatura graniczna dopuszczalna przejściowo** (τ_{dp}) – najwyższa dopuszczalna temperatura przewodów występująca sporadycznie w przejściowym czasie, uzależniona od materiału izolacji, np. dla przewodów o izolacji z PVC $\tau_{dp} = 100 \text{ °C}$;
- **sposób układania przewodów.**



Przewody

Dobór przekroju przewodu ze względu na obciążalność prądem roboczym

Temperatura graniczna dopuszczalna długotrwale (τ_{dd}) utrzymująca się w długim czasie nie powoduje obniżenia trwałości izolacji.

Temperatura graniczna dopuszczalna przejściowo (τ_{dp}) może utrzymywać się przez krótki (ustalony) czas i może powodować akceptowalne obniżenie trwałości izolacji.

Obliczeniowa temperatura otoczenia (τ_o) jest podana w normie międzynarodowej IEC 60287-3-1:1999 i wynosi dla Polski 25 °C w przypadku kabli ułożonych w powietrzu i 20 °C w przypadku przewodów ułożonych w ziemi.

W pomieszczeniach, w których kryptoklimat powoduje, że temperatura otoczenia odbiega od podanej w normie obliczeniową temperaturę otoczenia wyznacza się na podstawie pomiarów.

Jeżeli warunki oddawania ciepła wzdłuż trasy przewodów są różne, obciążalność prądowa długotrwała powinna być wyznaczona w odniesieniu do odcinka trasy mającego najgorsze warunki chłodzenia.



Przewody

Dobór przekroju przewodu ze względu na obciążalność prądem roboczym

Dobór przekroju przewodu powinien uwzględniać obciążalność prądową zwarciovą, która jest związana z cieplnym oddziaływaniem przepływającego prądu zwarciovego.

Temperatura graniczna dopuszczalna przy zwarciu (τ_{dz}) np. dla przewodów o izolacji z PVC $\tau_{dz} = 160$ °C, nie może być przekroczona w końcowym czasie trwania zwarcia.

Prąd zwarciový powoduje obniżenie trwałości przewodu ale nie może powodować uszkodzeń przewodu np. stopienia izolacji, przemieszczenia żył.

Przekrój przewodu ze względu na obciążalność zwarciovą powinien spełniać jedną z poniższych zależności:

$$S \geq \frac{1}{k} \sqrt{\frac{(I^2 t)_w}{1}}$$

$$I^2 t \leq k^2 S^2$$

gdzie:

S – przekrój przewodu

$(I^2 t)_w$ – całka Joule'a wyłączenia

k – współczynnik związany z rodzajem materiału żyły przewodu, izolacji oraz z temperaturą początkową i końcową przewodu

t – czas wyłączenia przez urządzenie zabezpieczające



Przewody

Dobór przekroju przewodu ze względu na obciążalność prądem roboczym

Współczynnik k dla przewodów miedzianych
– największa dopuszczalna gęstość prądu.

Izolacja przewodu	Temperatura początkowa °C	Temperatura końcowa °C	k
Guma (60 °C)	30	200	141
PVC (70 °C)	30	160 *)	115*)

*) Dotyczy przewodów o przekrojach do 300 mm².



Przewody

Dobór przekroju przewodu ze względu na największy dopuszczalny spadek napięcia

Największy dopuszczalny spadek napięcia od złącza do odbiorników wynosi 4% (Dz.U. 2015 poz. 1422), norma na wyposażenie elektryczne maszyn PN-EN 60204-1:2010 podaje wartość 5 %.

Spadek napięcia można również wyznaczyć metodą obliczeniową, dla obwodów jednofazowych ze wzoru:

$$\Delta U \% = \frac{200}{U_{nf}} I_B (R \cdot \cos \varphi + X \cdot \sin \varphi)$$

lub dla obwodów trójfazowych ze wzoru:

$$\Delta U \% = \frac{\sqrt{3} \cdot 100}{U_n} I_B (R \cdot \cos \varphi + X \cdot \sin \varphi)$$

gdzie:

$\Delta U\%$ – spadek napięcia wyrażony w procentach

I_B – obliczeniowy prąd obciążenia

U_{nf} – napięcie znamionowe fazowe

U_n – napięcie znamionowe międzyfazowe

$\cos \varphi$ – współczynnik mocy

R – rezystancja przewodu

X – reaktancja przewodu



Przewody

Dobór przekroju przewodu ze względu na skuteczność samoczynnego wyłączenia zasilania

W przypadku zastosowania do ochrony przeciwporażeniowej przy uszkodzeniu samoczynnego wyłączenia zasilania w instalacjach o układzie TN, przekrój przewodów powinien być dobrany tak aby został spełniony warunek:

$$I''_{k1min} \geq I_a$$

gdzie:

I_k – najmniejszy spodziewany prąd zwarciov początkowy przy zwarciu jednofazowym

I_a – najmniejsza wartość prądu, powodująca zadziałanie urządzenia zabezpieczającego w wymaganym czasie

Najmniejszy spodziewany prąd zwarciov (I''_{k1min}) jest obliczany przy założeniu warunków sprzyjających wystąpieniu jak najmniejszej wartości prądu. Zakłada się, że: zwarcie będzie zwarciem jednofazowym u końca rozpatrywanego obwodu; przewody są nagrzane prądem roboczym; silniki, które mogą mieć wpływ na prąd zwarciov są zatrzymane itd.



Obciążalność prądowa długotrwała przewodów

Przekrój przewodu

Przekrój przewodu jest prawidłowo dobrany ze względu na obciążalność prądową długotrwałą I_z jeżeli są spełnione obie zależności:

$$I_B \leq I_n \leq I_z \qquad I_2 \leq 1,45 I_z$$

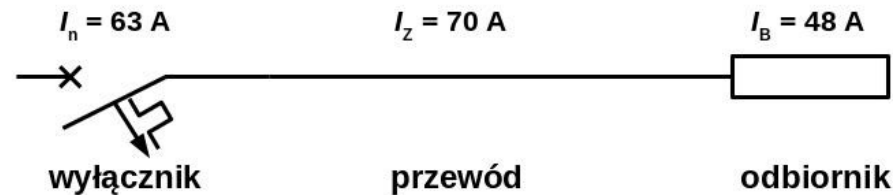
gdzie:

I_B – obliczeniowy prąd obciążenia

I_n – prąd znamionowy lub nastawa prądu urządzenia zabezpieczającego

I_z – obciążalność prądowa długotrwała

I_2 – najmniejszy prąd zapewniający skuteczne działanie urządzenia zabezpieczającego w czasie 1 h w przypadku urządzeń zabezpieczających o prądzie znamionowym ≤ 63 A lub 2 h w przypadku urządzeń zabezpieczających o prądzie znamionowym > 63 A



Prąd I_2 jest obliczany ze wzoru $I_2 = k \cdot I_n$, a współczynnik k wynosi:

- 2,1 – dla wkładek topikowych klasy gG o prądzie znamionowym $2 \leq I_n \leq 4$ A;
- 1,9 – dla wkładek topikowych klasy gG o prądzie znamionowym $6 \leq I_n \leq 13$ A;
- 1,6 – dla wkładek topikowych klasy gG o prądzie znamionowym $I_n > 13$ A;
- 1,45 – dla wyłączników instalacyjnych typu B, C i D;
- 1,2 – dla wyłączników silnikowych, stacyjnych i wyzwalaczy termobimetalowych.

Obciążalność prądowa długotrwała przewodów

Przekrój przewodu

Prąd I_B dla odbiorników jednofazowych można obliczyć ze wzoru:

$$I_B = \frac{P}{U_{nf} \cdot \cos \varphi}$$

Prąd I_B dla odbiorników trójfazowych można obliczyć ze wzoru:

$$I_B = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi}$$

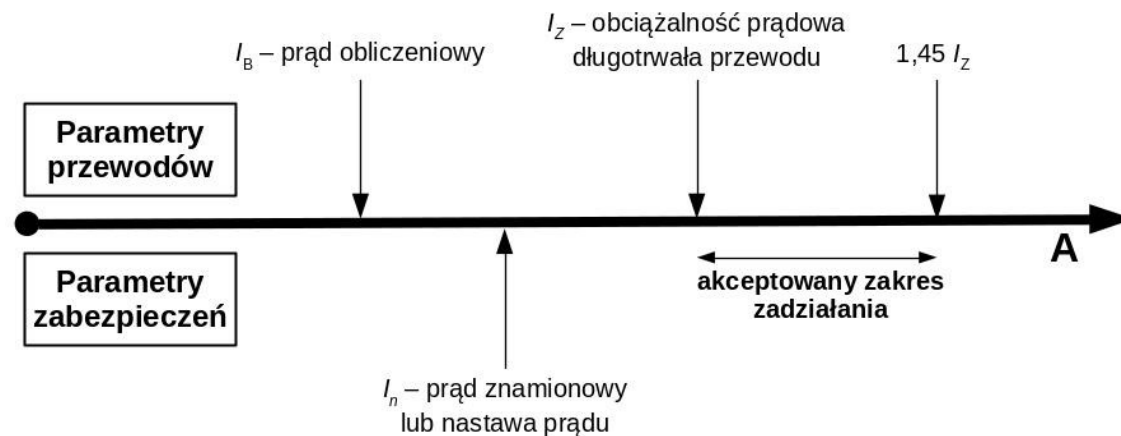
gdzie:

P – moc znamionowa

U_{nf} – napięcie znamionowe fazowe

U_n – napięcie znamionowe międzyfazowe

$\cos \varphi$ – współczynnik mocy



Obliczoną obciążalność prądową długotrwałą o wartości nie większej niż 20 A zaokrągla się do najbliższego 0,5 A, a wartości większe niż 20 A – do najbliższego ampera.

Obciążalność prądowa długotrwała przewodów

Obliczenie prądu znamionowego I_n silników indukcyjnych i transformatorów

Prąd znamionowy silników I_n silników indukcyjnych można obliczyć ze wzoru:

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \eta_n \cdot \cos \varphi}$$

gdzie:

P_n – moc znamionowa czynna;

U_n – napięcie znamionowe;

η_n – sprawność znamionowa;

$\cos \varphi$ – współczynnik mocy

Prąd znamionowy I_n transformatorów można obliczyć ze wzoru:

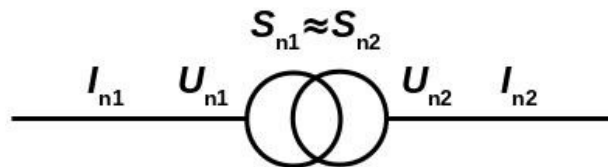
$$I_{n1} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_{n1}} \quad I_{n2} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_{n2}}$$

gdzie:

S_n – moc znamionowa pozorna;

U_{n1} – napięcie znamionowe pierwotne;

U_{n2} – napięcie znamionowe wtórne



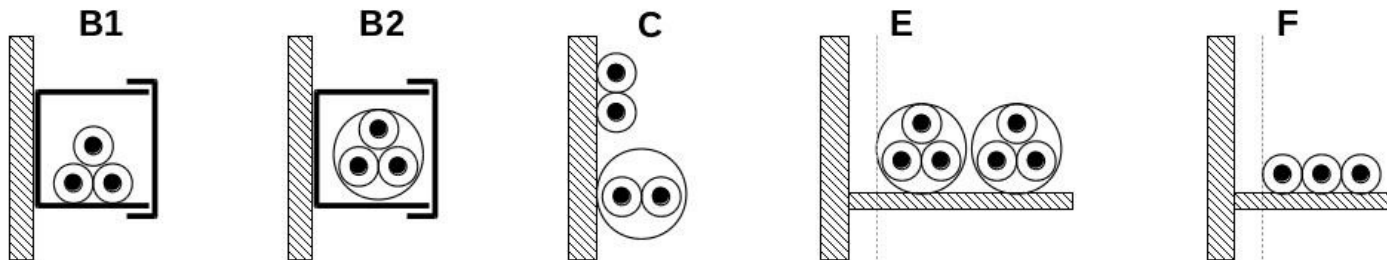
Obciążalność prądowa długotrwała przewodów

Temperatura graniczna dopuszczalna długotrwanie i podstawowe sposoby montażu przewodów

Obciążalność prądowa długotrwała przewodów (I_z) to wartość skuteczna prądu przepływającego przez długi czas i związana z dopuszczalnymi przyrostami temperatury przewodów. Obciążalność prądowa długotrwała przewodów jest uzależniona od wielu czynników między innymi od: obliczeniowej temperatury otoczenia (τ_o), temperatury granicznej dopuszczalnej długotrwanie (τ_{dd}), sposobu montażu przewodów.

Temperatura graniczna dopuszczalna długotrwanie (τ_{dd}) wynosi:

- 60 °C – przewody o izolacji z gumy;
- 70 °C – przewody o izolacji z PVC;
- 90 °C – przewody o izolacji z EPR lub XLPE;
- 180 °C – przewody o izolacji z silikonu.



Podstawowe sposoby montażu przewodów:
B1 – przewody jednożyłowe w listwach instalacyjnych;
B2 – przewody wielożyłowe w listwach instalacyjnych;
C – przewody jedno i wielożyłowe na ścianach i w korytkach kablowych nieperforowanych;
E – przewody wielożyłowe w korytkach perforowanych lub na drabinkach kablowych;
F – przewody jednożyłowe w korytkach perforowanych lub na drabinkach kablowych.

Obciążalność prądowa długotrwała przewodów

Obliczeniowa temperatura otoczenia

Obliczeniowa temperatura otoczenia (τ_o) dla przewodów w pomieszczeniach zgodnie z normą międzynarodową IEC 60287-3-1:1999 wynosi dla Polski 25 °C.

W przypadku korzystania z tablic obciążalności długotrwałej przewodów I_z podanej dla temperatury otaczającego powietrza 30 °C należy zastosować współczynnik korekcyjny w celu przeliczenia obciążalności długotrwałej przewodów I_z do wymaganej temperatury obliczeniowej otoczenia τ_o .

Przykładowo dla przewodów o izolacji wykonanej z PVC ($\tau_{dd} = 70$ °C) współczynnik korekcyjny dla temperatury $\tau_o = 25$ °C wynosi 1,06:

$$I_{Z25} = I_{Z30} \cdot \sqrt{\frac{\tau_{dd} - 25}{\tau_{dd} - 30}} = I_{Z30} \cdot \sqrt{\frac{70 - 25}{70 - 30}} = 1,06 \cdot I_{Z30}$$

dla temperatury $\tau_o = 35$ °C wynosi 0,94:

$$I_{Z35} = I_{Z30} \cdot \sqrt{\frac{\tau_{dd} - 35}{\tau_{dd} - 30}} = I_{Z30} \cdot \sqrt{\frac{70 - 35}{70 - 30}} = 0,94 \cdot I_{Z30}$$

Obciążalność prądowa długotrwała przewodów

Obciążalność prądowa długotrwała przewodów o izolacji z gumy
i dopuszczalnej temperaturze roboczej żyły 60 °C,
w pomieszczeniach w temperaturze obliczeniowej 30 °C

Przekrój przewodu mm ²	Dwie żyły obciążone	Trzy żyły obciążone
0,75	6	6
1	10	10
1,5	16	16
2,5	25	20
4	35	30
6	44	37
10	62	52
16	82	69
25	109	92
35	135	114
50	169	143

Obciążalność prądowa długotrwała przewodów

Obciążalność prądowa długotrwała przewodów o izolacji z PVC i dopuszczalnej temperaturze roboczej żyły 70 °C, w pomieszczeniach w temperaturze obliczeniowej 30 °C. Sposób wykonania instalacji E

Przekrój przewodu mm ²	Dwie żyły obciążone	Trzy żyły obciążone
1,5	22	18,5
2,5	30	25
4	40	34
6	51	43
10	70	60
16	94	80
25	119	101
35	147	126
50	179	153
70	229	196

Obciążalność prądowa długotrwała przewodów

Obciążalność prądowa długotrwała przewodów o izolacji z **EPR/XLPE** i dopuszczalnej temperaturze roboczej żyły **70 °C**, w pomieszczeniach w temperaturze obliczeniowej **30 °C**. Sposób wykonania instalacji **E**

Przekrój przewodu mm ²	Dwie żyły obciążone	Trzy żyły obciążone
1,5	26	23
2,5	36	31
4	49	42
6	63	54
10	86	75
16	115	100
25	149	127
35	185	158
50	125	192
70	289	246

Obciążalność prądowa długotrwała przewodów

Współczynniki poprawkowe dla różnych temperatur otaczającego powietrza

Temperatura otoczenia °C	Guma (60 °C)	PVC (60 °C)	EPR/XLPE (60 °C)
25	1,08	1,06	1,04
30	1,00	1,00	1,00
35	0,91	0,94	0,96
40	0,82	0,87	0,91
45	0,71	0,79	0,87
50	0,58	0,71	0,82
55	0,41	0,61	0,76
60	—	0,50	0,71

Obciążalność prądowa długotrwała przewodów

Obciążalność prądowa długotrwała przewodów o izolacji z silikonu i dopuszczalnej temperaturze roboczej żyły 180 °C, w temperaturze obliczeniowej 150 °C

Przekrój przewodu mm ²	Dwie żyły obciążone	Trzy żyły obciążone
0,5	12	7
0,75	15	12
1,0	19	15
1,5	24	18
2,5	32	26
4	42	34
6	54	44
10	73	61
16	98	82

UWAGA Przewody jednożyłowe ułożone w powietrzu w odległości nie mniejszej niż jedna średnica przewodu lub w rozdzielnicach. Przewody wielożyłowe ułożone w powietrzu lub w perforowanych kanałach kablowych.

Obciążalność prądowa długotrwała przewodów

Obciążalność prądowa długotrwała przewodów o izolacji z silikonu
i dopuszczalnej temperaturze roboczej żyły 180 °C,
w temperaturze obliczeniowej 150 °C

Temperatura otoczenia °C	150	155	160	165	170	175
Współczynnik poprawkowy	1,00	0,91	0,82	0,71	0,58	0,41



Obciążalność prądowa długotrwała przewodów

Współczynniki poprawkowe dla wiązek złożonych z więcej niż jednego obwodu lub przewodu wielożyłowego stosowane do obliczenia obciążalności prądowej długotrwałej

Rozmieszczenie (przewody stykające się)	Liczba obwodów lub przewodów wielożyłowych									Sposób montażu
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Wiązka w powietrzu lub na powierzchni wbudowana lub obudowana	1,00	0,80	0,70	0,65	0,60	0,57	0,54	0,52	0,50	B, C, E, F
W pojedynczej warstwie na ścianie, podłodze lub w nieperforowanym korytku instalacyjnym	1,00	0,85	0,79	0,75	0,73	0,72	0,72	0,71	0,70	C
W pojedynczej warstwie w poziomym lub pionowym, nieperforowanym korytku instalacyjnym	1,00	0,88	0,82	0,77	0,75	0,73	0,73	0,72	0,72	E lub F
W pojedynczej warstwie na drabince instalacyjnej w uchwytych instalacyjnych itp.	1,00	0,87	0,82	0,80	0,80	0,79	0,79	0,78	0,78	E lub F

UWAGA Współczynniki stosuje się dla wiązek takich samych, jednakowo obciążonych przewodów

Obciążalność prądowa długotrwała przewodów

Wiązki przewodów o różnych przekrojach

Współczynniki poprawkowe dla wiązek o różnych przekrojach żył przewodów w rurach instalacyjnych, listwach instalacyjnych lub kanałach kablowych wynosi:

$$F = \frac{1}{\sqrt{n}}$$

gdzie:

F – współczynnik poprawkowy dla wiązki

n – liczba wielożyłowych przewodów lub obwodów w wiązce

Współczynnik zmniejszający otrzymany z tego równania redukuje zagrożenie przeciążeniowe przewodów o mniejszych przekrojach, ale może prowadzić do niewykorzystania przewodów o przekrojach większych.

Obciążalność prądowa długotrwała przewodów

Prąd w przewodzie neutralnym zawierający wyższe harmoniczne

Jeżeli przy symetrycznym obciążeniu trójfazowym w przewodzie neutralnym płynie prąd, może być to spowodowane udziałem wyższych harmonicznych w przewodzonym prądzie. Szczególnie trzecia harmoniczna nie znosi się w przewodzie neutralnym i może osiągać znaczące wielkości. W takich przypadkach prąd przewodu neutralnego może mieć znaczący wpływ na obciążalność prądową przewodów w tym obwodzie.

Wyposażeniem powodującym powstawanie wyższych harmonicznych są np. przekształtniki elektroenergetyczne i oświetlenie fluorescencyjne.

Jeżeli prąd w przewodzie neutralnym jest większy niż w przewodach fazowych zaleca się aby przekrój przewodu był dobierany na podstawie prądu w przewodzie neutralnym.

Współczynnik zmniejszający dla wyższych harmonicznych prądów w cztero i pięciożyłowych przewodach

Udział trzeciej harmonicznej w prądzie fazowym %	Współczynnik zmniejszający	
	Przekrój żył dobrany na podstawie wartości prądu przewodu fazowego	Przekrój żył dobrany na podstawie wartości prądu przewodu neutralnego
0 – 15	1,0	—
15 – 33	0,86	—
33 – 45	—	0,86
> 45	—	1,0

Obciążalność prądowa długotrwała przewodów

Obciążalność prądowa długotrwała przewodów o izolacji z PVC i dopuszczalnej temperaturze roboczej żyły 70 °C, w temperaturze obliczeniowej 35 °C.

Przekrój przewodu mm ²	Przewody jednożyłowe w kanale kablowym - poziomo. 6 przewodów (2 obwody trójfazowe) z ciągłym obciążeniem A	Przewody jednożyłowe stykające się w powietrzu lub w korycie perforowanym. 6 przewodów (2 obwody trójfazowe) z ciągłym obciążeniem A	Przewody jednożyłowe - poziomo z odstępem w powietrzu A
1,5	12	12	12
2,5	17	20	20
4	22	25	25
6	28	32	32
10	38	48	50
16	52	64	65
25	—	85	85
35	—	104	115
50	—	130	149
70	—	161	175

Obciążalność prądowa długotrwała przewodów

Obciążalność prądowa długotrwała przewodów o izolacji z PVC i dopuszczalnej temperaturze roboczej żyły 70 °C, w temperaturze obliczeniowej 55 °C.

Przekrój przewodu mm ²	Przewody jednożyłowe w kanale kablowym - poziomo. 6 przewodów (2 obwody trójfazowe) z ciągłym obciążeniem A	Przewody jednożyłowe stykające się w powietrzu lub w korycie perforowanym. 6 przewodów (2 obwody trójfazowe) z ciągłym obciążeniem A	Przewody jednożyłowe - poziomo z odstępem w powietrzu A
1,5	8	9	15
2,5	10	13	21
4	14	18	28
6	18	23	36
10	24	32	50
16	33	44	67
25	43	59	89
35	54	74	110
50	65	90	134
70	83	116	171

Obciążalność prądowa długotrwała przewodów

Obciążalność prądowa długotrwała przewodów o izolacji z PVC
i dopuszczalnej temperaturze roboczej żyły 70 °C.

Przekrój przewodu mm ²	Przewody obwodów pomocniczych w temperaturze otoczenia 35 °C A	Przewody obwodów pomocniczych w temperaturze otoczenia 55 °C A
0,12	2,6	1,7
0,14	2,9	1,9
0,20	3,2	2,1
0,22	3,6	2,3
0,30	4,4	2,9
0,34	4,7	3,1
0,50	6,4	4,2
0,75	8,2	5,4
1,0	9,3	6,1

Obciążalność prądowa długotrwała przewodów

Obciążalność prądowa długotrwała przewodów gołych
w układzie pionowym bez bezpośredniego połączenia z aparatami
Temperatura graniczna dopuszczalna długotrwałe – 65 °C.

Rozmiar mm/mm	Przekrój mm ²	Obliczeniowa temperatura otoczenia 35 °C		Obliczeniowa temperatura otoczenia 55 °C	
		I_{z1} A	I_{z2} A	I_{z1} A	I_{z2} A
12x2	23,5	144	242	105	177
15x2	29,5	170	282	124	206
15x3	44,5	215	375	157	274
20x2	39,5	215	351	157	256
20x3	59,5	271	463	198	338
20x5	99,1	364	665	266	485
20x10	199	568	1097	414	800
25x5	124	435	779	317	568
30x5	149	504	894	368	652

I_{z1} – obciążalność prądowa długotrwała dla jednego przewodu na fazę,
 I_{z2} – obciążalność prądowa długotrwała dla dwóch przewodów na fazę

Obciążalność prądowa długotrwała przewodów

Obciążalność prądowa długotrwała przewodów gołych,
łączyjących aparaty i szyny zbiorcze.
Temperatura graniczna dopuszczalna długotrwałe – 65 °C.

Rozmiar mm/mm	Przekrój mm ²	Obliczeniowa temperatura otoczenia 35 °C		Obliczeniowa temperatura otoczenia 55 °C	
		I_{z1} A	I_{z2} A	I_{z1} A	I_{z2} A
12x2	23,5	82	130	69	105
15x2	29,5	96	150	88	124
15x3	44,5	124	202	102	162
20x2	39,5	115	184	93	172
20x3	59,5	152	249	125	198
20x5	99,1	218	348	174	284
20x10	199	348	648	284	532
25x5	124	253	413	204	338
30x5	149	288	492	233	402

I_{z1} – obciążalność prądowa długotrwała dla jednego przewodu na fazę,
 I_{z2} – obciążalność prądowa długotrwała dla dwóch przewodów na fazę

Obciążalność prądowa długotrwała przewodów

Maksymalne średnice gołych żył przewodów

Powierzchnia przekroju żył mm ²	Maksymalna średnica żył przewodów sztywnych (klasa 1) mm	Maksymalna średnica żył przewodów giętkich (klasa 5) mm
0,5	0,9	1,1
0,75	1,0	1,3
1	1,2	1,5
1,5	1,5	1,8
2,5	1,9	2,4
4	2,4	3,0
6	2,9	3,9
10	3,7	5,1
16	4,6	6,3
25	5,7	7,8
35	6,7	9,2

Obciążalność prądowa długotrwała przewodów

Przykład doboru przewodu na obciążalność prądową długotrwałą

Jednofazowy obwód zabezpieczony urządzeniem nadprądowym o prądzie znamionowym 16 A jest wykonany miedzianym przewodem jednożyłowym o przekroju 2,5 mm² i izolacji z PVC.

Przewód jest zamontowany w budynku mieszkalnym i ułożony pod tynkiem (sposób A1).

Obliczeniowa temperatura otoczenia dla przewodów w pomieszczeniach, zgodnie z normą międzynarodową IEC 60287-3-1:1999 wynosi dla Polski 25 °C.

Zgodnie z normą PN-IEC 60364-5-523:2001 obciążalność prądowa długotrwała przewodu w temperaturze 30 °C wynosi:

$$I_{z30} = 19,5 \text{ A},$$

po przeliczeniu na temperaturę otoczenia 25 °C, obciążalność prądowa długotrwała przewodu wynosi:

$$I_z = 19,5 \text{ A} \times 1,06 = \mathbf{21 \text{ A}}$$

Przewód o przekroju 2,5 mm² jest prawidłowo dobrany ze względu na obciążalność prądową długotrwałą w rozpatrywanym obwodzie.

Obciążalność prądowa długotrwała przewodów

Przykład doboru przewodu na obciążalność prądową długotrwałą

Jednofazowy obwód zabezpieczony urządzeniem nadprądowym o prądzie znamionowym 16 A jest wykonany miedzianymi przewodami jednożyłowymi o przekroju $2,5 \text{ mm}^2$ i izolacji z PVC.

Przewody są zamontowane w rozdzielnicy w temperaturze otoczenia 55 °C , w listwie instalacyjnej (sposób B2) wspólnie z przewodami drugiego identycznego obwodu.

Zgodnie z normą PN-IEC 60364-5-523:2001 obciążalność prądowa długotrwała przewodów przy dwóch żyłach obciążonych w temperaturze 30 °C wynosi: $I_{z30} = 17 \text{ A}$,


po przeliczeniu na temperaturę otoczenia 55 °C , obciążalność prądowa długotrwała przewodu wynosi:
 $I_{z55} = 17 \text{ A} \times 0,61 = 10,5 \text{ A}$,

po uwzględnieniu prowadzenia przewodu w listwie instalacyjnej wspólnie z przewodem drugiego obwodu, obciążalność prądowa długotrwała wynosi: $I_z = 10,5 \text{ A} \times 0,8 = \mathbf{8,5 \text{ A}}$

Przewód o przekroju $2,5 \text{ mm}^2$ jest niewystarczający w rozpatrywanym obwodzie i powinien być zastosowany przewód o przekroju $\mathbf{6 \text{ mm}^2}$.

Przewody ochronne

Wymagania ogólne dla przewodów ochronnych

 **Przewód ochronny PE** (ang. *Protective conductor*) – przewód lub żyła przewodu przeznaczony do zapewnienia bezpieczeństwa np. realizowania ochrony przeciwporażeniowej.

Każdy obwód, który tego wymaga powinien mieć odpowiedni przewód ochronny przyłączony do właściwego zacisku. Drobne elementy o wymiarach nie większych niż 50 x 50 mm oraz elementy, które nie mogą być uchwycone lub dotknięte na dużej powierzchni takie jak nity, śruby, tabliczki, rdzenie elektromagnesów itp. nie muszą mieć przyłączonych przewodów ochronnych.

Powierzchnie przekroju miedzianych przewodów ochronnych

Przekrój przewodu fazowego S mm^2	Najmniejszy dopuszczalny przekrój przewodu ochronnego mm^2
$S \leq 16$	$S^*)$
$16 < S \leq 35$	16
$35 < S \leq 400$	$S/2$
$400 < S \leq 800$	200
$800 < S$	$S/4$

*) S jest powierzchnią przekroju przewodu fazowego (mm^2)

Przewody ochronne

Wymagania ogólne dla przewodów ochronnych

 Przekrój przewodu ochronnego PE powinien być obliczony ze wzoru:

$$S_p = \frac{\sqrt{I^2 t}}{k}$$

gdzie:

S_p – przekrój poprzeczny przewodu ;

I – wartość prądu zwarciovego (wartość skuteczna w przypadku prądu przemiennego) w przypadku zwarcia o pomijalnej impedancji, który może płynąć przez zabezpieczenia zwarciovowe;

t – czas wyłączenia urządzenia zabezpieczającego (nie więcej niż 5 s);

k – współczynnik zależny od materiału przewodu ochronnego, izolacji i innych elementów oraz od temperatury początkowej i końcowej przewodu

Zaciski przewodów ochronnych nie powinny równocześnie spełniać innej funkcji np. mocowanie wyposażenia. Demontaż wyposażenia nie powinien powodować rozłączenia przewodów ochronnych. Zaciski powinny zapewniać jak najlepszy styk z przewodem ochronnym.

Zgodnie z normą na bezpieczeństwo maszyn, **do jednego zacisku można przyłączyć tylko jeden przewód ochronny.**

Jako przewody ochronne można stosować:

- żyłę przewodu wielożyłowego;
- izolowane lub gołe przewody prowadzone we wspólnej osłonie z przewodami skrajnymi;
- ułożone na stałe przewody gołe lub izolowane, ułożone oddzielnie od przewodów skrajnych;
- metalowe osłony, jak np.: powłoki, ekrany i pancerze kabli; przewody plecione i koncentryczne; metalowe rury instalacyjne.

Przewody ochronne

Wymagania ogólne dla przewodów ochronnych

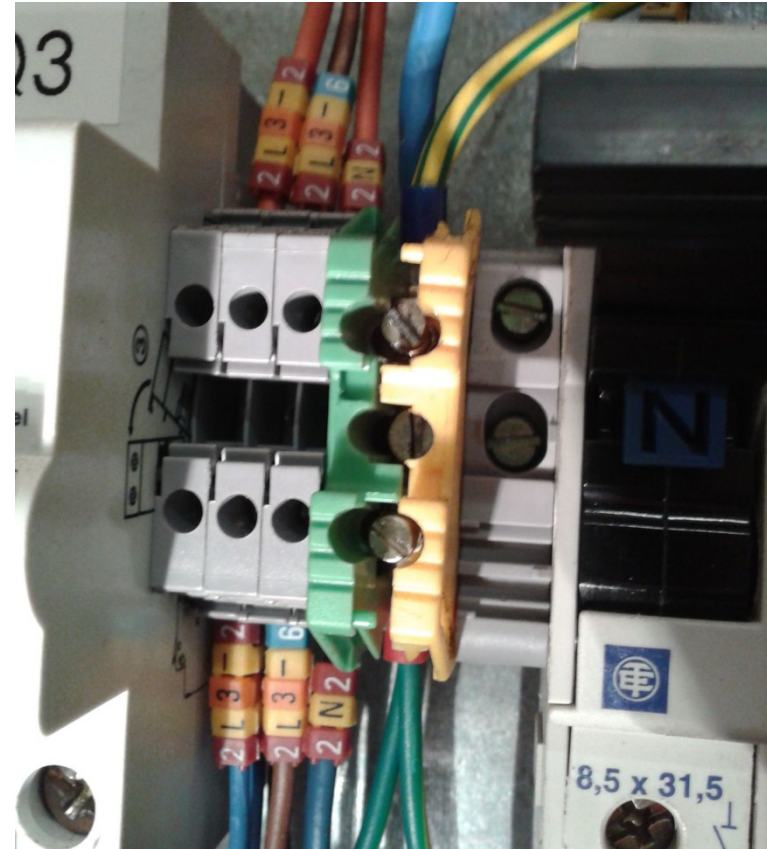


Części metalowe, które nie mogą być

Wykorzystywane jako przewody ochronne:

- metalowe rury wodociągowe;
- części konstrukcyjne narażone na naprężenia mechaniczne w czasie normalnej eksploatacji;
- giętkie metalowe kanały;
- giętkie metalowe części;
- elementy podtrzymujące oprzewodowanie;
- korytka i drabinki instalacyjne.


Ciągłość elektryczna przewodów ochronnych powinna być zachowana dzięki ich konstrukcji lub odpowiednim połączeniom zapewniającym ochronę przed pogarszaniem stanu technicznego związanego z oddziaływaniem czynników mechanicznych, chemicznych i elektrochemicznych.



Przykład nieprawidłowego montażu przewodów ochronnych: dwa przewody przyłączone do jednego zacisku, nieprawidłowa barwa przewodów ochronnych, niestaranny montaż

Przewody ochronne

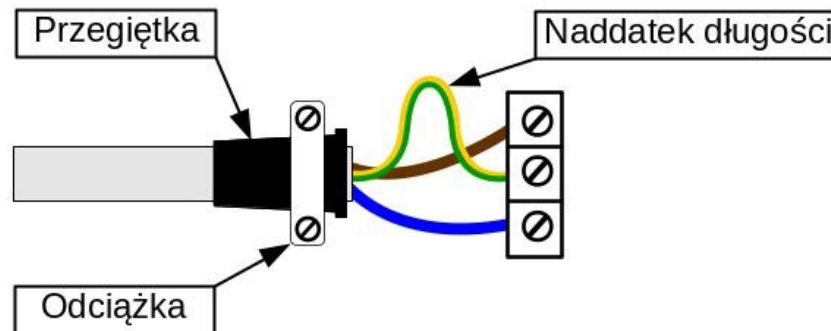
Wymagania dla przewodów ochronnych

 Przekrój przewodu ochronnego, który nie jest żyłą przewodu wielożyłowego lub nie znajduje się we wspólnej osłonie z przewodem fazowym nie powinien być mniejszy niż:

- 2,5 mm² Cu w przypadku stosowania ochrony przed uszkodzeniami mechanicznymi;
- 4 mm² Cu w przypadku niestosowania ochrony przed uszkodzeniami mechanicznymi.

Połączenia ochronne nie powinny zawierać łączników oraz urządzeń zabezpieczających. Jeżeli ciągłość połączenia ochronnego może być przerywana (np. za pomocą złącza wtykowego) to połączenie ochronne powinno być przerywane ostatnim rozłączanym zestykiem.

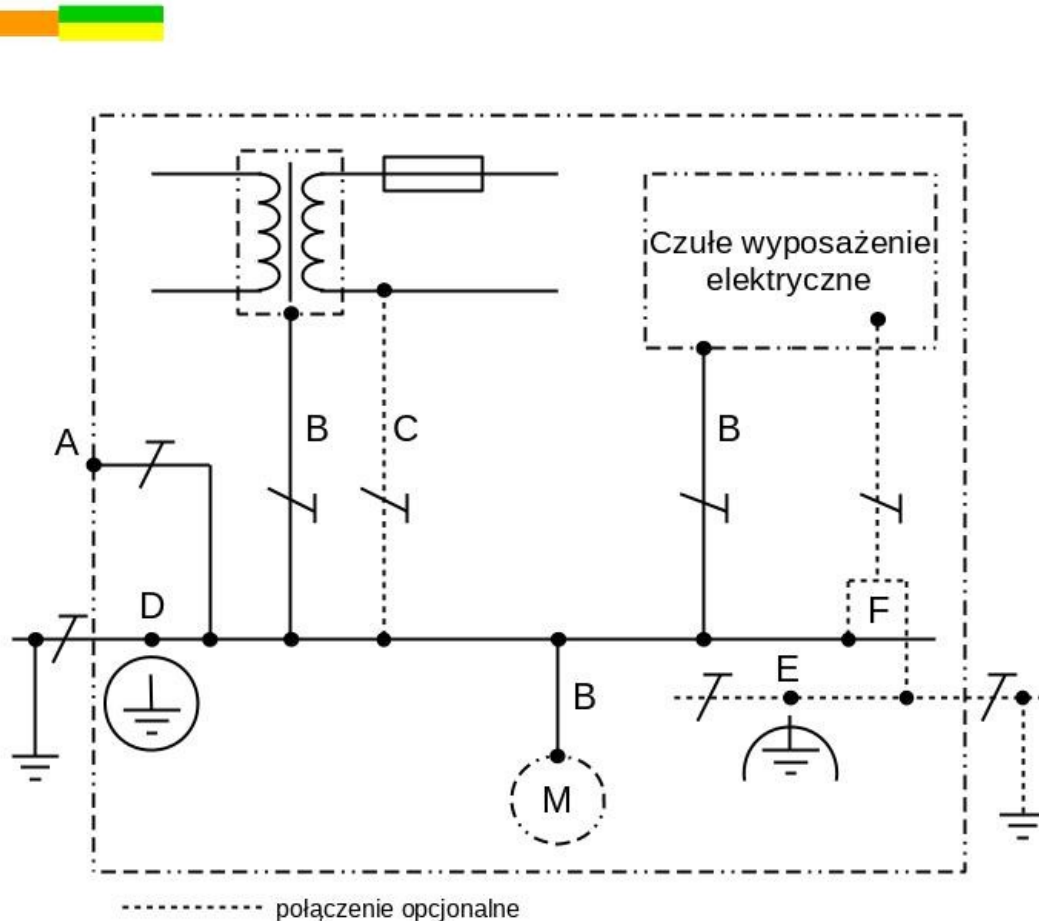
W miejscach, w których przewód wielożyłowy jest narażony na wyrwanie należy stosować mocowanie za pomocą odciążki, a żyła ochronna przewodu powinna mieć naddatek długości nad pozostałymi żyłami gwarantujący w przypadku wyrwania przewodu odłączenie żyły ochronnej jako ostatniej.



Naddatek długości żyły ochronnej w stosunku do długości pozostałych żył przewodu ruchomego narażonego na wyrwanie

Przewody ochronne

Połączenia ochronne maszyn



Przykład połączeń ochronnych wyposażenia maszyny:

- A** – przyłączenie przewodu ochronnego PE do konstrukcji maszyny;
- B** – przewód ochronny PE wyposażenia maszyny;
- C** – przewód ochronny PE i funkcjonalny FE;
- D** – zacisk do przyłączenia przewodu ochronnego instalacji zasilającej;
- E** – zacisk do przyłączenia uzziemienia funkcjonalnego;
- F** – przyłączenie czułego wyposażenia elektrycznego do układu połączeń ochronnych lub uzziemienia funkcjonalnego

Przewody ochronne

Wzmocnione przewody ochronne



Większość pośrednich przemienników częstotliwości ma prąd upływowy większy niż 3,5 mA a.c.

Gdy wyposażenie elektryczne ma prąd upływowy większy niż 10 mA a.c. lub 10 mA d.c. niezależnie od napięcia zasilania to powinien być spełniony jeden lub kilka warunków:

przewód ochronny powinien mieć na całej długości przekrój co najmniej 10 mm² w przypadku przewodów miedzianych;

jeżeli przewód ochronny ma przekrój mniejszy niż 10 mm² to należy zastosować drugi przewód ochronny o co najmniej takim samym przekroju, aż do punktu, w którym przewód ochronny ma przekrój 10 mm²;

samoczynne odłączenie zasilania w przypadku utraty ciągłości przewodu ochronnego.

UWAGA !

**Duża wartość prądu upływowego.
Uziemić przed przyłączeniem
do sieci zasilającej.**

**Najmniejszy dopuszczalny przekrój
przewodu ochronnego – mm²**

**W pobliżu zacisku PE powinna być umieszczona
tabliczka ostrzegawcza informująca o prądzie upływowym
i minimalnym przekroju przewodu ochronnego.**

Środkami do ograniczania skutków dużego prądu upływowego wyposażenia mogą być transformatory o oddzielonych uzwojeniach.

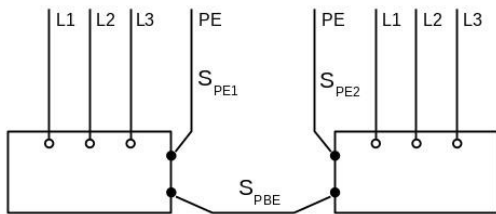
Przewody wyrównawcze

Wymagania ogólne dla przewodów wyrównawczych

 **Przewód ochronny wyrównawczy PB** (ang. *Protective bonding conductor*) – przewód połączenia

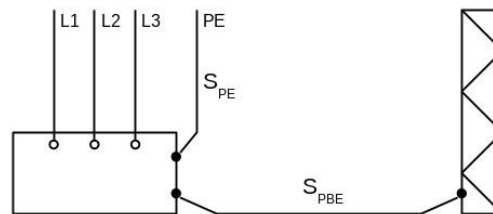
pomiędzy częściami przewodzącymi w celu wyrównania potencjałów. Rozróżnia się: przewody ochronne wyrównawcze uziemione **PBE** i przewody ochronne wyrównawcze nieziemione **PBU**. Jeżeli wszystkie przewody ochronne wyrównawcze są uziemione można stosować oznaczenie PB w przeciwnym razie należy stosować oznaczenia PBE i PBU w celu rozróżnienia i uniknięcia pomyłki. Części przewodzące dostępne oraz części przewodzące obce np. metalowe rurociągi, konstrukcje, przewody wentylacyjne, które mogą wprowadzić potencjał elektryczny z sąsiednich pomieszczeń lub stanowisk pracy powinny być połączone przewodami wyrównawczymi. Części przewodzące obce, powinny być połączone pomiędzy sobą przewodem o przekroju, co najmniej 6 mm^2 . Pozostałe połączenia wyrównawcze powinny być wykonane przewodami o przekrojach zależnych od przekroju przewodów ochronnych.

$$S_{PBE} \geq \min(S_{PE})$$



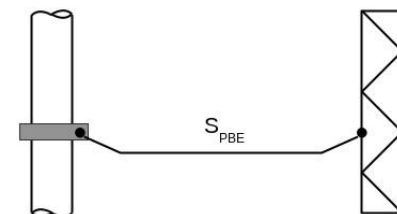
Połączenie wyrównawcze pomiędzy częściami przewodzącymi dostępnymi

$$S_{PBE} \geq 0,5 \cdot S_{PE}$$



Połączenie wyrównawcze pomiędzy częścią przewodzącą dostępną a częścią przewodzącą obcą

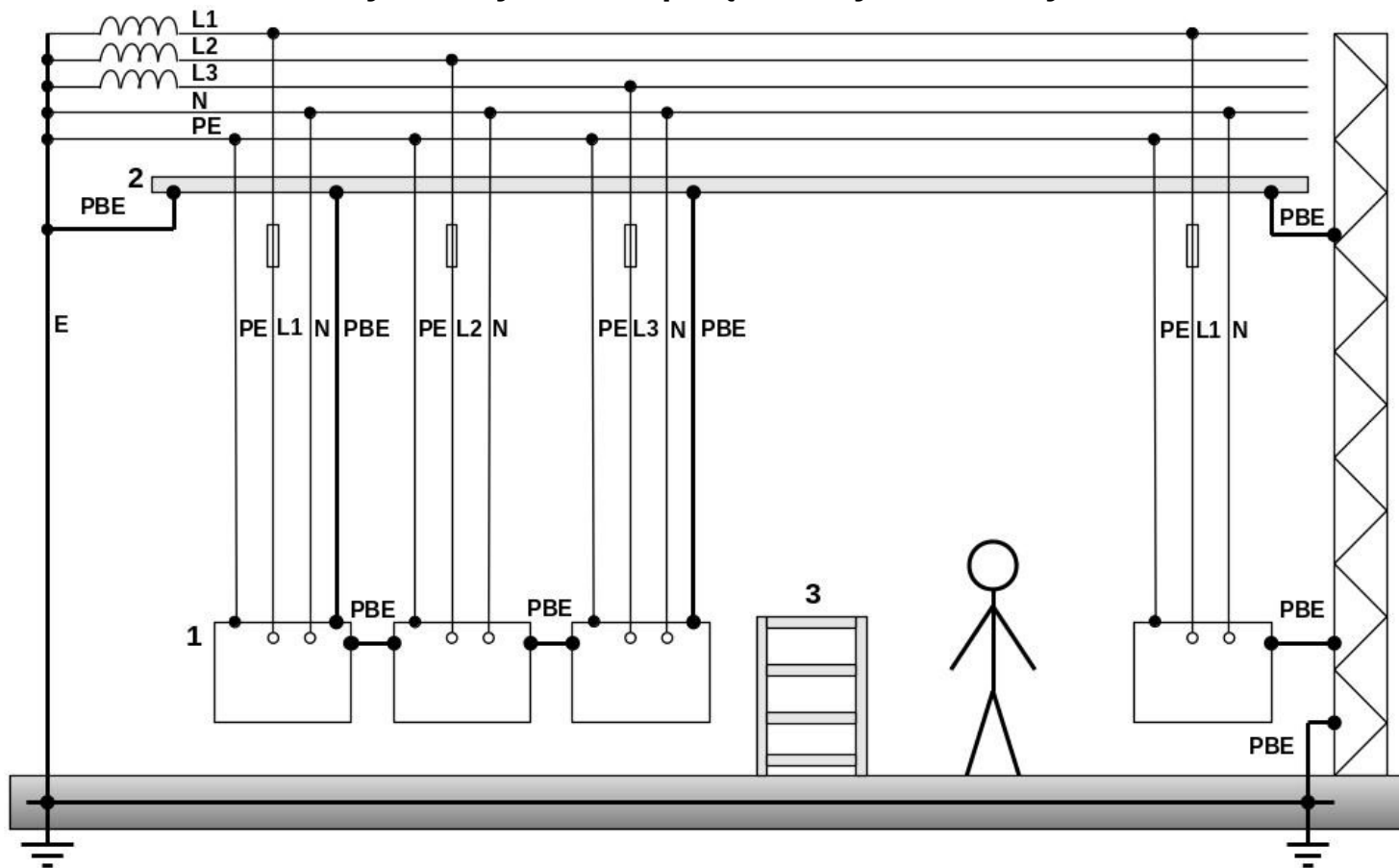
$$S_{PBE} \geq 6 \text{ mm}^2 (\text{Cu})$$



Połączenie wyrównawcze pomiędzy częściami przewodzącymi obcymi

Przewody wyrównawcze


Przykład wykonania połączeń wyrównawczych



Przykład wykonania połączeń wyrównawczych (PBE) na hali przemysłowej:
1 - urządzenie klasy ochronności I (część przewodząca dostępna);
2 - metalowa rura instalacyjna (część przewodząca obca);
3 - metalowy regał (nie jest częścią przewodzącą obcą)

Przewody wyrównawcze

Przewody wyrównawcze zestawów rozdzielnic i sterownic

 Części przewodzące dostępne urządzenia, które nie mogą być połączone z układem połączeń ochronnych rozdzielnic za pomocą elementów mocujących urządzenie, powinny być połączone przewodem wyrównawczym o przekroju podanym w tabeli. Jeżeli na pokrywach, drzwiach lub osłonach jest montowane wyposażenie zasilane napięciem większym niż granica napięcia bardzo niskiego (ELV) to części te powinny być wyposażone w przewód ochronny o odpowiednim przekroju podanym w tabeli. W przypadku wyposażenia zasilanego napięciem nie większym niż granica napięcia bardzo niskiego (ELV) uważa się, że zwykle połączenia za pomocą metalowych śrub i metalowe zawiasy są wystarczające do zapewnienia ciągłości połączeń.


Najmniejszy dopuszczalny przekrój miedzianych przewodów wyrównawczych

Znamionowy prąd łączeniowy I_e A	Najmniejszy dopuszczalny przekrój przewodu wyrównawczego mm ²
$I_e \leq 20$	S ^{*)}
$20 < I_e \leq 25$	2,5
$25 < I_e \leq 32$	4
$32 < I_e \leq 63$	6
$63 < I_e$	10

^{*)} S jest powierzchnią przekroju przewodu fazowego (mm²)

Przewody neutralne

Wymagania ogólne dla przewodów neutralnych

 **Przewód neutralny N** (ang. *Neutral conductor*) przewód przyłączony do punktu neutralnego sieci, który może być wykorzystany do przesyłania energii.

Jeżeli przewód neutralny jest stosowany i do oznaczenia użyto jedynie barw to należy stosować barwę niebieską. Jeżeli stosowanie barwy niebieskiej może spowodować pomylenie przewodu neutralnego z innymi przewodami to do oznaczenia przewodu neutralnego należy stosować barwę jasnoniebieską.

Przewody neutralne nie muszą być rozłączane ze względów funkcjonalnych, ze względu na ochronę przeciwporażeniową przy pracach przy wyłączonym napięciu, przewód neutralny powinien być rozłączany za wyjątkiem sieci o układzie TN-S. Jeżeli stosuje się rozłączanie przewodu neutralnego to przewód neutralny rozłącza się nie wcześniej niż przewody fazowe, a łączy nie później niż przewody fazowe.

Przewody neutralne nie powinny być odłączane bez odłączenia wszystkich przewodów fazowych.

Jeżeli przekrój przewodów neutralnych jest równy lub równoważny przekrojowi przewodów fazowych nie wymaga się stosowania urządzeń przetężeniowych w przewodach neutralnych.

Nie dopuszcza się łączenia przewodu neutralnego z przewodem ochronnym wewnątrz wyposażenia maszyn i nie może być używany wspólny zacisk PEN. Wspólny zacisk PEN może być użyty wyłącznie w miejscu przyłączenia maszyny do zasilania w instalacji o układzie TN-C.

Jeżeli przewód ochronny i przewód neutralny zostały rozdzielone, to nie dopuszcza się łączenia za miejscem rozdzielenia przewodu neutralnego z jakąkolwiek częścią uziemioną lub przewodem ochronnym.

Zestawy rozdzielnic i sterownicy

Podstawowe definicje

Rozdzielnica i sterownica niskonapięciowa (ZESTAW) – jeden lub wiele łączników niskonapięciowych, wraz ze współpracującym wyposażeniem sterowniczym, pomiarowym, sygnalizacyjnym, regulacyjnym i połączeniami wewnętrznymi elektrycznymi i mechanicznymi.

Obwód główny (zestawu) – wszystkie części przewodzące zestawu, które są włączone w obwody przeznaczone do przenoszenia energii.

Obwód pomocniczy (zestawu) – wszystkie części przewodzące zestawu, które są włączone do obwodów innych niż obwód główny, i które są przeznaczone do sterowania, regulacji, pomiaru, sygnalizacji, przetwarzania danych itp.

Szyna zbiorcza – połączenie o małej impedancji do którego są przyłączane obwody odbiorcze.
Termin „szyna zbiorcza” nie jest związany z kształtem geometrycznym i przekrojem przewodów.

Podstawowe dane znamionowe

I_{cw} – prąd zwarciový krótkotrwały wytrzymywany – wartość skuteczna prądu, który może być wytrzymywany w danych warunkach uzależnionych od wartości prądu i czasu jego przepływu (zazwyczaj 1 s).

Prąd zwarciový krótkotrwały wytrzymywany nie powinien być mniejszy niż spodziewana wartość skuteczna prądu zwarciového (I_{cp}): $I_{cw} \geq I_{cp}$

I_{na} – prąd znamionowy zestawu – jest to maksymalna wartość prądu, który może być rozdzielany przez zestaw i który nie może być przekroczony przez dodanie dalszych pól odbiorczych. Ten prąd nie może powodować przekraczania granicznych przyrostów temperatury.

Prądy znamionowe zestawu nie powinny przekraczać 80 % prądu znamionowego cieplnego (I_{th}) jeżeli został określony lub prądu znamionowego (I_n) łączników i elektrycznych elementów wyposażenia obwodu.

I_{nc} – prąd znamionowy obwodu – jest to wartość prądu, który może być przewodzony przez konkretny obwód odbiorczy w normalnych warunkach pracy. Ten prąd nie może powodować przekraczania granicznych przyrostów temperatury.

I_{pk} – prąd znamionowy szczytowy wytrzymywany – prąd znamionowy szczytowy wytrzymywany nie powinien być mniejszy niż wartość szczytowa prądu zwarciového spodziewanego w miejscu instalacji zestawu ($I_{pk} \geq i_p$).

I_{cc} – prąd znamionowy zwarciový umowny zestawu – spodziewana wartość skuteczna prądu zwarciového o czasie trwania ograniczonym przez zadziałanie zabezpieczenia zwarciového.

I_{cp} – wartość skuteczna spodziewanego prądu zwarciového

Zestawy rozdzielnic i sterownicy

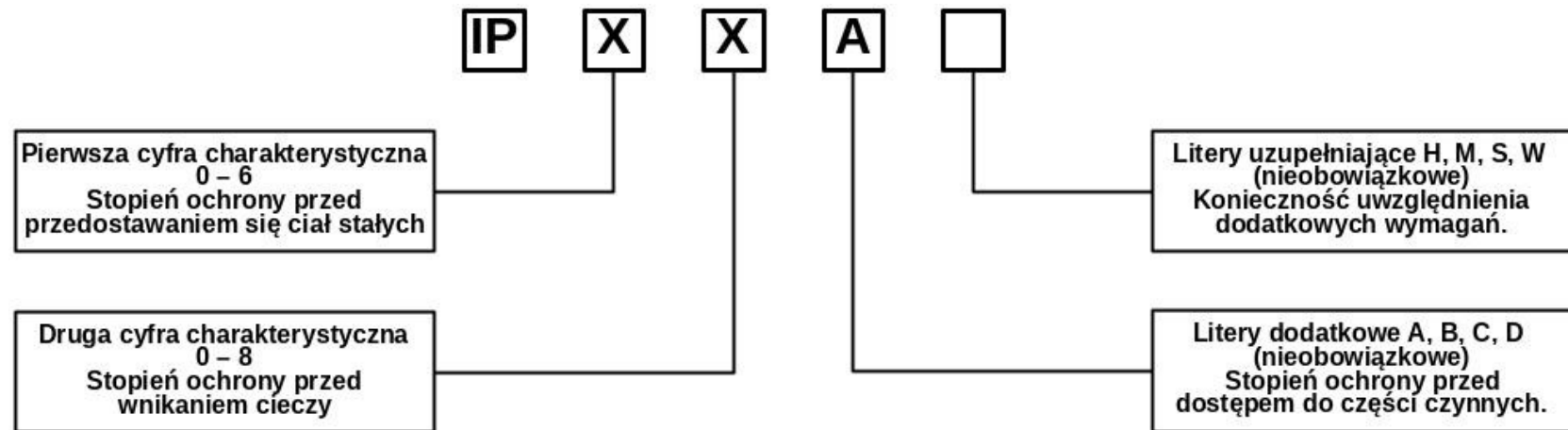
Ochrona zapewniana przez obudowy – kod IP

Kod IP – system klasyfikacji stopni ochrony, zapewnianej przez obudowy urządzeń elektrycznych przed:

- przedostawaniem się ciał stałych;
- wnikaniem wody;
- dotykiem bezpośrednim części czynnych.

Jeżeli nie jest wymagane określenie cyfry charakterystycznej zastępuje się ją literą X (lub XX), cyfra 0 oznacza brak ochrony. Jeżeli określa się wyłącznie stopień ochrony przed dotykiem części czynnych, stosuje się literę dodatkową a pierwszą cyfrę charakterystyczną zastępuje się literą X. Literę dodatkową stosuje się również gdy ochrona przed dostępem do części czynnych jest wyższa niż wynika to z pierwszej cyfry charakterystycznej.

W przypadku konieczności oznaczenia dodatkowych wymagań stosuje się literę uzupełniającą.



Zestawy rozdzielnic i sterownicy

Ochrona zapewniana przez obudowy – Kod IP

IP1X
IPXXA



IP1X – ochrona przed stałymi ciałami obcymi o średnicy 50 mm i większej.

Próbnik – kula o średnicy 50 mm nie może wchodzić do otworów w obudowie całkowicie.

IPXXA – ochrona przed niezamierzonym dostępem wierzchem dłoni.

Próbnik – kula o średnicy 50 mm może wchodzić do wnętrza obudowy, ale nie może dotykać części czynnych.

IP2X
IPXXB



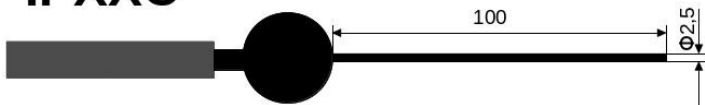
IP2X – ochrona przed stałymi ciałami obcymi o średnicy 12 mm i większej.

Próbnik – kula o średnicy 12,5 mm nie może wchodzić do otworów w obudowie całkowicie.

IPXXB – ochrona przed niezamierzonym dostępem palcem.

Próbnik – przegubowy palec o średnicy 12 mm może wchodzić do wnętrza obudowy, ale nie może dotykać części czynnych.

IP3X
IPXXC



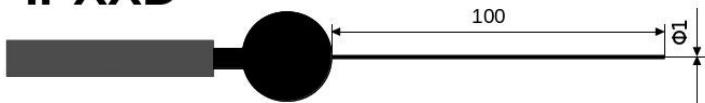
IP3X – ochrona przed stałymi ciałami obcymi o średnicy 2,5 mm i większej.

Próbnik – pręt stalowy o średnicy 2,5 mm nie może wchodzić do otworów w obudowie.

IPXXC – ochrona przed niezamierzonym dostępem Narzędziem.

Próbnik – pręt stalowy o średnicy 2,5 mm może wchodzić do wnętrza obudowy, ale nie może dotykać części czynnych.

IP4X
IPXXD



IP4X – ochrona przed stałymi ciałami obcymi o średnicy 1 mm i większej.

Próbnik – pręt stalowy o średnicy 2,5 mm nie może wchodzić do otworów w obudowie.

IPXXD – ochrona przed niezamierzonym dostępem drutem.

Próbnik – pręt stalowy o średnicy 1 mm może wchodzić do wnętrza obudowy, ale nie może dotykać części czynnych.

Zestawy rozdzielnic i sterownicy

Ochrona zapewniana przez obudowy – Kod IP

Części czynne powinny być umieszczone wewnątrz obudów zapewniających stopień ochrony przed dotykiem bezpośrednim co najmniej **IP2X** lub **IPXXB**.



Jeżeli górne powierzchnie obudów są łatwo dostępne to powinny zapewniać ochronę przed dostępem do części czynnych co najmniej **IP4X** lub **IPXXD**.

Jeżeli wyposażenie jest zlokalizowane w miejscach dostępnych dla osób postronnych to obudowy powinny zapewniać stopień ochrony przed dostępem do części czynnych co najmniej **IPXXC**.

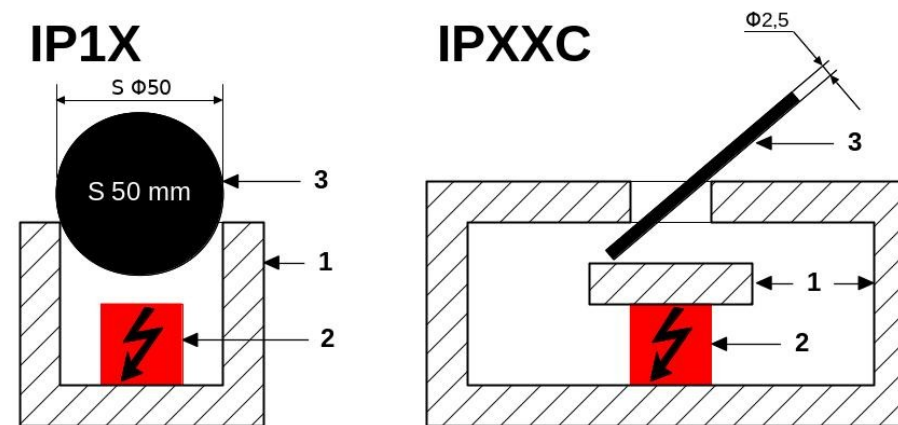
Sterownice i ich wyposażenie powinny mieć stopień ochrony przed dotykiem bezpośrednim co najmniej **IPXXD**.

Zestawy rozdzielnic i sterownicy

Ochrona zapewniana przez obudowy – Kod IP

Jeżeli czynności łączeniowe, regulacyjne lub inne podobne muszą być wykonane przy załączonym zasilaniu, to części czynne, które mogą być dotknięte muszą mieć stopień ochrony co najmniej IP2X lub IPXXB.

Części czynne znajdujące się na wewnętrznej stronie drzwi rozdzielnic to muszą posiadać ochronę przed niezamierzonym dotykiem co najmniej IP1X lub IPXXA.



**Przykład kontroli stopnia ochrony obudowy:
1 – obudowa izolacyjna; 2 – część czynna, 3 – próbnik.**

Zestawy rozdzielnic i sterownicy

Ochrona przeciwporażeniowa za pomocą połączeń ochronnych

Ochrona przeciwporażeniowa zestawów za pomocą połączeń ochronnych polega na połączeniu wszystkich części przewodzących dostępnych zestawu z zaciskiem zewnętrznego przewodu ochronnego.

Połączenia ochronne muszą wytrzymywać prądy zwarciovowe, na które mogą być narażone.

Ciągłość połączeń ochronnych powinna być sprawdzana pomiędzy zaciskiem zewnętrznego przewodu ochronnego a częściami przewodzącymi prądem stałym lub przemiennym o wartości 10 A. Zmierzone wartości rezystancji połączeń ochronnych nie powinny przekraczać wartości 0,1 Ω .

Czas próby powinien być ograniczony w przypadku sprawdzania urządzeń, które mogą być uszkodzone prądem pomiarowym.

Zestawy rozdzielnic i sterownicy

Temperatura wewnętrzna zestawów

Przyrost temperatury zestawów o prądzie znamionowym nieprzekraczającym 630 A i częstotliwości znamionowej do 60 Hz można ustalić na podstawie obliczeń, jeżeli są spełnione odpowiednie warunki min.:

- dane dotyczące strat mocy poszczególnych urządzeń zamontowanych w zestawie są znane;
- prąd znamionowy obwodów nie przekracza 80 % prądu zastępczego cieplnego (I_{th}) lub prądu znamionowego (I_n) urządzeń;
- zainstalowane wyposażenie nie powinno znacząco utrudniać cyrkulacji powietrza;
- obciążalność prądowa długotrwała przewodów powinna być dobrana dla wartości 125 % prądu znamionowego obwodu.

Wszystkie wymagane warunki zostały podane w normie IEC 61439-1.

Straty mocy w poszczególnych obwodach oblicza się na podstawie prądów znamionowych tych obwodów.

Zestawy rozdzielnic i sterownicy

Temperatura wewnętrzna zestawów

Nadmierna temperatura powoduje zwiększenie awaryjności zestawów przez degradację izolacji, zmniejszenie żywotność elementów elektronicznych i inne niekorzystne działania.

Dopuszczalna strata mocy (P_v) zestawu jest różnicą pomiędzy stratami mocy, które może wyemitować obudowa a stratami mocy urządzeń zainstalowanych w rozdzielnic.

Ciepło związane z mocą traconą w rozdzielnicach może być odprowadzane z rozdzielnic przez:

- przewodzenie,
- konwekcję,
- promieniowanie.

Chłodzenie przez obudowy (konwekcja) lub przez otwory wentylacyjne (przewodzenie) odbywa się przy różnicy temperatur $T_w > T_z$.

$$(T_w - T_z) = \frac{P_v}{k \cdot A_E}$$

gdzie:

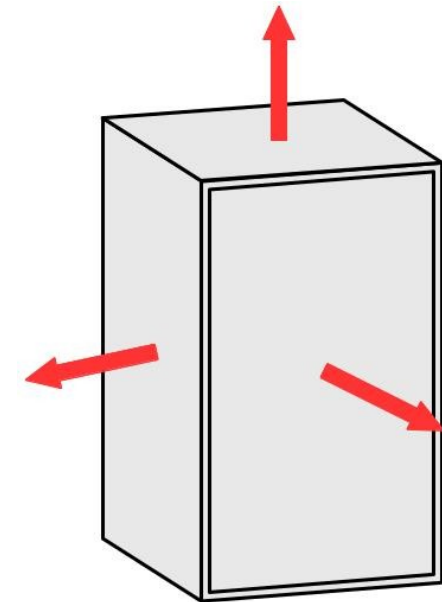
T_w – temperatura wewnętrzna

T_z – temperatura zewnętrzna

P_v – moc tracona aparatury rozdzielczej i oprzewodowania

k – współczynnik przenikania ciepła (dla blachy stalowej 5,5 W/m² · K)

A_E – efektywna powierzchnia chłodzenia rozdzielnic



**Odprowadzanie ciepła z rozdzielnic
przez obudowę (konwekcja)**

Zestawy rozdzielnic i sterownicy

Temperatura wewnętrzna zestawów

Efektywna powierzchnia chłodzenia A_E może być obliczona ze wzoru:

$$A_E = \sum (A_0 \cdot b)$$

gdzie:

A_0 – powierzchnia

b – współczynnik powierzchni związany ze sposobem montażu zestawu

Najmniejszy dopuszczalny przekrój miedzianych przewodów wyrównawczych

Sposób montażu	Współczynnik b
Odsłonięta górna powierzchnia	1,4
Zasłonięta górna powierzchnia	0,7
Odsłonięte powierzchnie: boczne, tylna i przednia	0,9
Zasłonięta powierzchnia tylna lub boczna, np. montaż na ścianie lub skrajna obudowa zestawów wieloszafowych.	0,5
Zasłonięte powierzchnie boczne, np. środkowa obudowa zestawów wieloszafowych.	0,5

Zestawy rozdzielnic i sterownicy

Temperatura wewnętrzna zestawów

Przyrost temperatury oblicza się ze wzoru:

$$\Delta T = (T_w - T_z)$$

gdzie:

ΔT – przyrost temperatury w zestawie

T_w – temperatura wewnętrzna

T_z – temperatura zewnętrzna

Wymaganą moc chłodniczą można obliczyć ze wzoru:

$$P_k = P_v - P_s$$

gdzie:

P_k – wymaga moc chłodnicza

P_v – moc tracona aparatury rozdzielczej i przewodowania

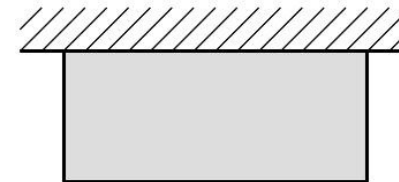
P_s – moc oddawana przez powierzchnię obudowy rozdzielnic

Moc oddawaną przez rozdzielnicę można obliczyć ze wzoru:

$$P_s = k \cdot A_E \cdot \Delta T$$



Rozdzielnica wolnostojąca – odprowadzanie ciepła przez wszystkie powierzchnie



Rozdzielnica montowana na ścianie – ograniczone odprowadzanie ciepła przez tylną powierzchnię

Zestawy rozdzielnic i sterownicy

Wentylacja i klimatyzacja

Wentylatory powinny wdmuchiwać powietrze do wnętrza rozdzielnic tak aby nie powodować powstania podciśnienia wewnątrz.

Wymagany strumień powietrza można obliczyć w sposób przybliżony ze wzoru:

$$V = f_1 \cdot f_2 \cdot \frac{P_v - P_s}{\Delta T}$$

gdzie:

V – wymagany strumień powietrza

ΔT – przyrost temperatury w zestawie

P_v – moc tracona w zestawie

P_s – moc oddawana konwekcyjnie przez obudowę

f_1 – współczynnik związany z wysokością nad poziomem morza (3,3)

f_2 – współczynnik związany z zabrudzeniem filtra wentylatora (1,2)

Wynik obliczenia wymaganego strumienia powietrza powinien być pomnożony przez liczbę 1,2 ze względu na zabrudzenie filtrów wentylatorów.

Przy stosowaniu klimatyzatorów należy przestrzegać zasad:

- temperatura wewnątrz rozdzielnic nie powinna być ustawiona poniżej 35° C;
- klimatyzator powinien pracować przy zamkniętych drzwiach rozdzielnic;
- rozdzielnica powinna mieć ochronę przed wpływami środowiskowym nie mniejszą niż IP 54.

Temperatura wewnątrz rozdzielnic powinna być nastawiona na 35 °C, niższe temperatury sprzyjają kondensacji pary wodnej na urządzeniach wewnętrznych rozdzielnic. Nastawienie niższej temperatury może powodować mniej efektywną pracę klimatyzatora.

Przybliżoną moc chłodniczą klimatyzatorów można obliczyć jako 5% z mocy znamionowej zestawu.

Zestawy rozdzielnic i sterownicy

Przykład obliczania przyrostu temperatury w zestawie – moc tracona

Moc tracona w rozdzielnic (P_v) to suma strat mocy wszystkich urządzeń zamontowanych w rozdzielnic, łącznie z przewodami. W przypadku urządzeń nie w pełni obciążonych, moc traconą można obliczyć ze wzoru:

$$P_v = P_n \left(\frac{I_b}{I_n} \right)^2$$

Obliczenie proporcjonalnych strat mocy w rozdzielnic

Urządzenie	Ilość	Długość m	Ilość biegunów	I _n A	I _B A	P W	P _v A
Wyłącznik DPX ³ 160 3P 100A 25kA	1	—	3	100	72	3	3
Wyłącznik ETIMAT 10 C32	3	—	3	32	3	3	3
Przewód o przekroju 35 mm ² i izolacji z PVC	—	0,9	—	110	3	3	3
Przewód o przekroju 6 mm ² i izolacji z PVC	—	1,5	—	36	3	3	3
Razem P_v							3

Zestawy rozdzielnic i sterownicy

Przykład obliczania przyrostu temperatury w zestawie – efektywna powierzchnia chłodnicza

Obliczenie efektywnej powierzchni chłodniczej obudowy rozdzielnic o wymiarach 400 x 300 x 250 (W x S x G):

$$A_E = \sum (A_0 \cdot b) = 0,501$$

Obliczenie efektywnej powierzchni chłodniczej obudowy rozdzielnic

Rodzaj powierzchni	Powierzchnia A_0 m ²	Współczynnik powierzchni b	Powierzchnia A_E m ²
Powierzchnia górna	0,075	1,4	0,105
Powierzchnia przednia	0,120	0,9	0,108
Powierzchnia tylna	0,120	0,9	0,108
Powierzchnia lewa	0,100	0,5	0,050
Powierzchnia prawa	0,100	0,9	0,090
Razem P_v			0,501

Zestawy rozdzielnic i sterownicy

Przykład obliczania przyrostu temperatury w zestawie

Obliczona moc tracona w rozdzielnicy wynosi $P_v = 31,1$ W, temperatura otoczenia wynosi 35 °C, dopuszczalna temperatura wewnątrz rozdzielnicy wynosi 55 °C.

Obliczenie przyrostu temperatury w rozdzielnicy:

$$\Delta_T = (T_w - T_z) = (55 - 35) = 10 \text{ K}$$

obliczenie mocy traconej w rozdzielnicy:

$$P_S = k \cdot A_E \cdot \Delta_T = 5,5 \cdot 0,501 \cdot 10 = 27,6 \text{ W}$$

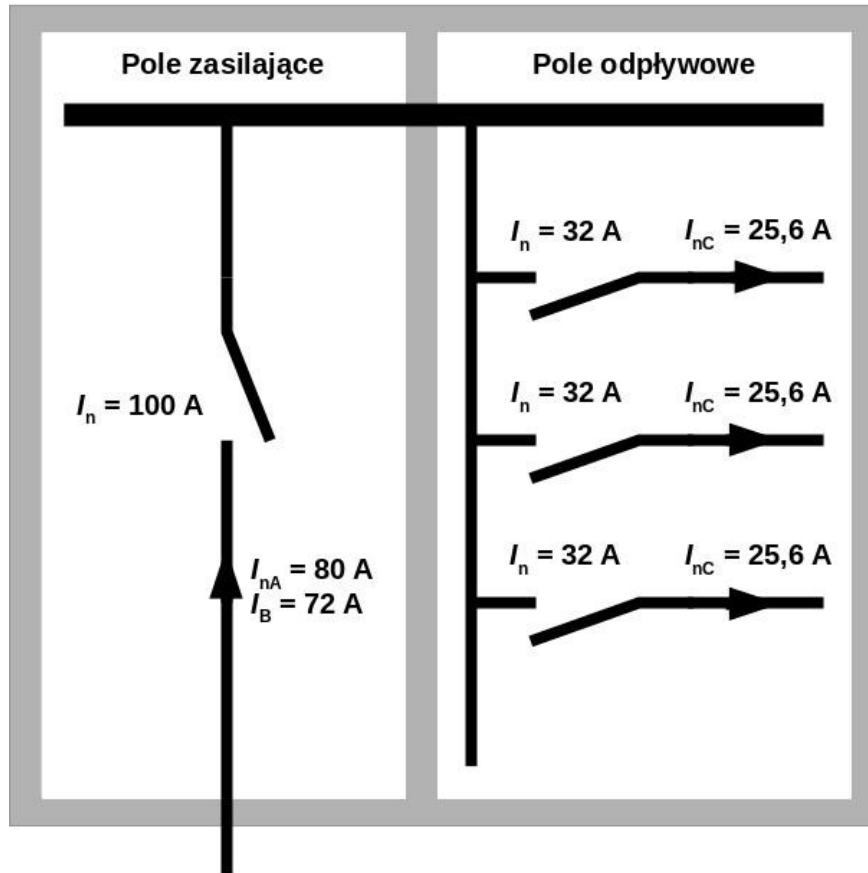
obliczenie wymaganej mocy chłodniczej:

$$V = f_1 \cdot f_2 \cdot \frac{P_v - P_S}{\Delta_T} = 3,3 \cdot 1,2 \cdot \frac{31,1 - 27,6}{10} = 1,4 \text{ W}$$

Moc tracona wyposażenia rozdzielnicy przewyższa moc oddawaną konwekcyjnie przez obudowę rozdzielnicy, przy założeniu maksymalnej dopuszczalnej temperatury wewnętrznej 55 °C. Utrzymanie założonej dopuszczalnej temperatury wewnętrznej wymaga zastosowania rozdzielnicy o większych wymiarach, lub zastosowanie wentylatora o mocy chłodniczej co najmniej $1,4$ W.

Obwody główne zestawów

Prąd znamionowy zestawu i obwodów odbiorczych



Przykład ustalenia prądu znamionowego zestawu:

jeżeli prąd znamionowy (I_n) łącznika = 100 A to **prąd znamionowy zestawu (I_{na}) = 80 A** ($100\text{ A} \times 0,8$).

Jeżeli prąd roboczy obwodu odbiorczego (I_B) jest znany i wynosi np. = 22 A to prąd znamionowy urządzenia zabezpieczającego musi wynosić co najmniej 27,5 A ($22\text{ A} \times 1,25$).

Najbliższa większa wartość znamionowa prądu wynosi 32 A.

Jeżeli prąd roboczy obwodu odbiorczego nie jest znany, a prąd znamionowy urządzenia zabezpieczającego (I_n) = 32 A to **prąd znamionowy obwodu (I_{nc}) = 25,6 A** ($32\text{ A} \times 0,8$).

Ustalenie prądu roboczego (I_B) zestawu: $I_B = \sum I_{nc} \times \text{RDF}$

Obwody główne zestawów

Współczynnik znamionowy jednoczesności RDF

Współczynnik jednoczesności jest stosunkiem mocy szczytowej linii zasilającej do sumy mocy szczytowych linii odpływowych. Współczynnik jednoczesności jest potrzebny do obliczania nagrzewania się zestawów, w przypadku braku sprawdzonego współczynnika jednoczesności to można użyć wartości umownych tj. **współczynnika znamionowego jednoczesności RDF** (ang. *Rated diversity factor*). Współczynnik RDF może być wyznaczony dla całej rozdzielnicy lub dla grupy obwodów.

$$RDF = \frac{I_B}{I_{nC}}$$

Wartości współczynnika znamionowego jednoczesności RDF

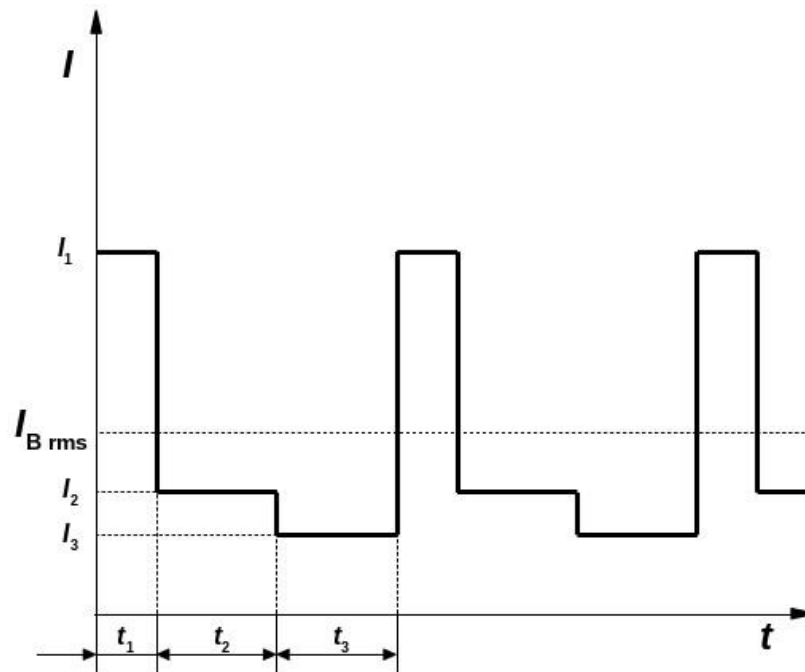
Ilość obwodów lub typ urządzeń	RDF
2 – 3	1,4
4 – 5	0,7
6 – 9	0,9
≥ 10	0,5
Urządzenia wykonawcze	0,5
Silniki o mocy znamionowej ≤ 100 kW	0,5
Silniki o mocy znamionowej ≥ 100 kW	0,5

Obwody główne zestawów

Współczynnik znamionowy jednoczesności RDF

W przypadku prądów obciążenia o periodycznych zmianach wartości, ustalenie znamionowego współczynnika jednoczesności może wymagać obliczenia zastępczego prądu obciążenia I_B , który jest wartością średnią przebiegu prądu:

$$I_{Brms} = \sqrt{\frac{I_1^2 \cdot t_1 + I_2^2 \cdot t_2 + I_3^2 \cdot t_3}{t_1 + t_2 + t_3}}$$

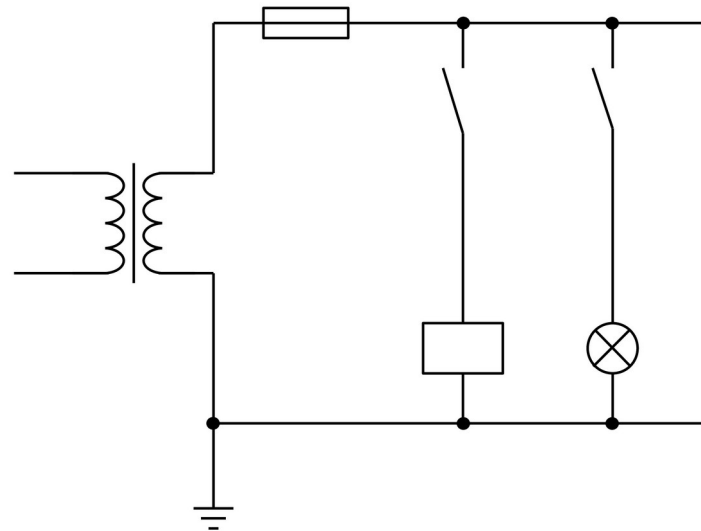


Wartość średnia zastępczego prądu obciążenia I_B
o stałych okresowych zmianach wartości

Obwody pomocnicze zestawów

Zasilanie obwodów sterowniczych – metoda a

Metoda a – obwód sterowniczy zasilany z transformatora, przewody wspólne są przyłączone do układu połączeń ochronnych maszyny.

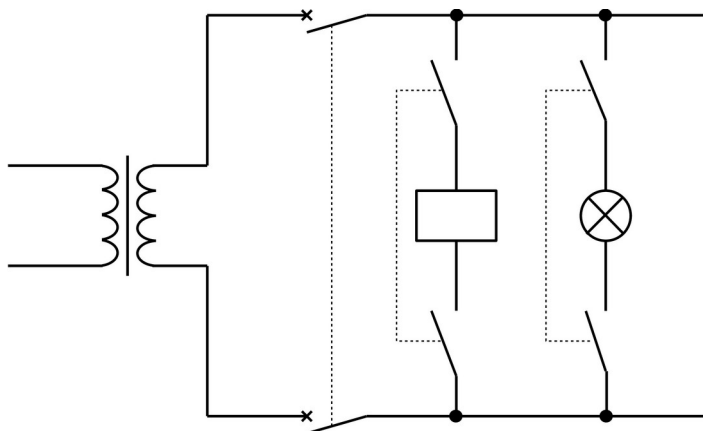


Zasilanie obwodów sterowniczych metodą a

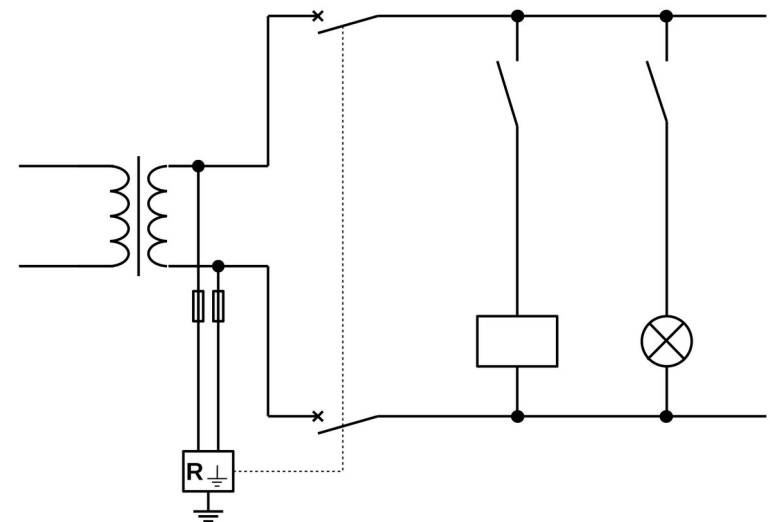
Obwody pomocnicze zestawów

Zasilanie obwodów sterowniczych – metoda b

Metoda b – obwód sterowniczy zasilany z transformatora nie przyłączony do uziemienia. W **metodzie b1** zastosowanie odłączanie obu biegunów zasilania w celu zapobiegania skutkom podwójnego uszkodzenia izolacji. W **metodzie b2** zastosowano urządzenie IMD (ang. *insulation monitoring device*) przeznaczonym do kontroli rezystancji izolacji w przypadku pierwszego uszkodzenia izolacji urządzenie IMD odłącza zasilanie obwodu sterowniczego. Jeżeli wyłączenie zasilania jest niepożądane urządzenie IMD może sygnalizować uszkodzenie izolacji bez odłączania zasilania, takie rozwiązanie to **metoda b3**.



Zasilanie obwodów sterowniczych metodą b1

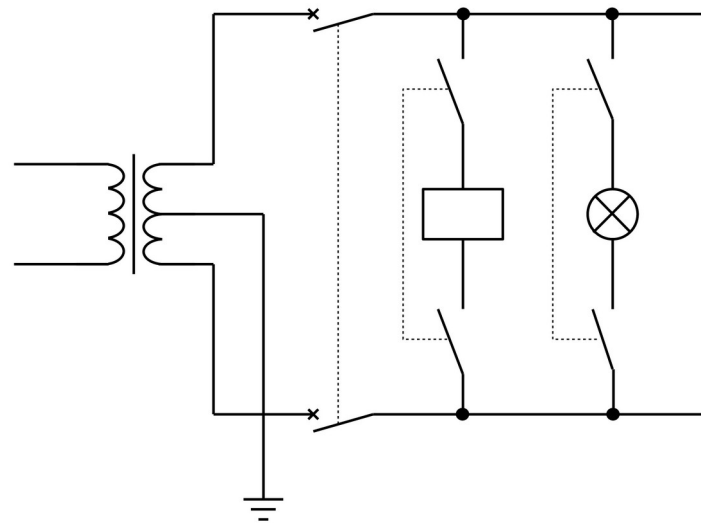


Zasilanie obwodów sterowniczych metodą b2

Obwody pomocnicze zestawów

Zasilanie obwodów sterowniczych – metoda c

Metoda c – obwód sterowniczy zasilany z transformatora o wyprowadzonym środku uzwojenia przyłączonym do układu połączeń ochronnych maszyny. W tej metodzie odłączane są oba bieguny zasilania.



Zasilanie obwodów sterowniczych metodą c

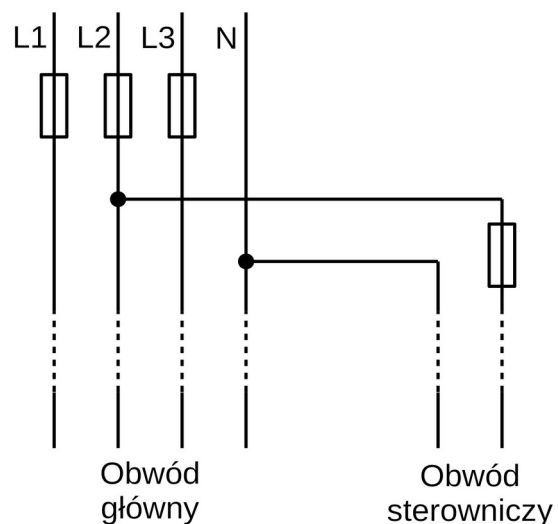
Obwody pomocnicze zestawów

Zasilanie obwodów sterowniczych – metoda d

Metoda d – obwód sterowniczy zasilany bezpośrednio bez użycia transformatora, może być stosowany w przypadku maszyn zawierających jedno urządzenie uruchamiające silnik i/lub najwyżej dwa urządzenia sterownicze.

Metoda ma kilka wariantów:

- **metoda d1a** – obwód sterownia włączony pomiędzy przewód fazowy i neutralny uziemionego systemu zasilania;
- **metoda d1b** – obwód sterownia włączony pomiędzy przewody fazowe uziemionego systemu zasilania;
- **metoda d2a** – obwód sterownia włączony pomiędzy przewód fazowy i neutralny nieziemionego systemu zasilania;
- **metoda d2b** – obwód sterownia włączony pomiędzy przewody fazowe nieziemionego systemu zasilania.



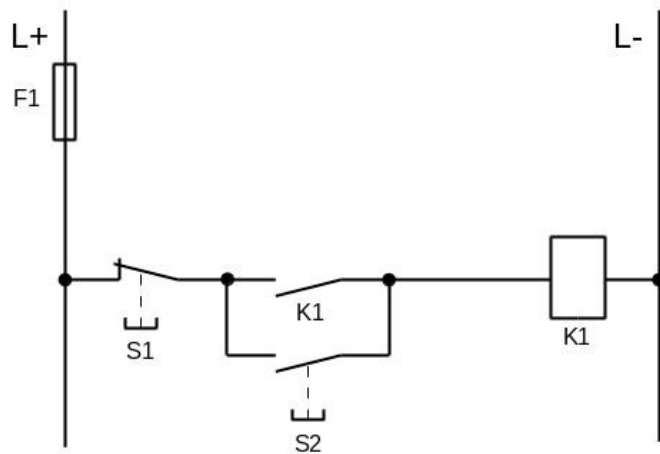
Zasilanie obwodów sterowniczych z obwodu głównego – metoda d1a

Obwody pomocnicze zestawów

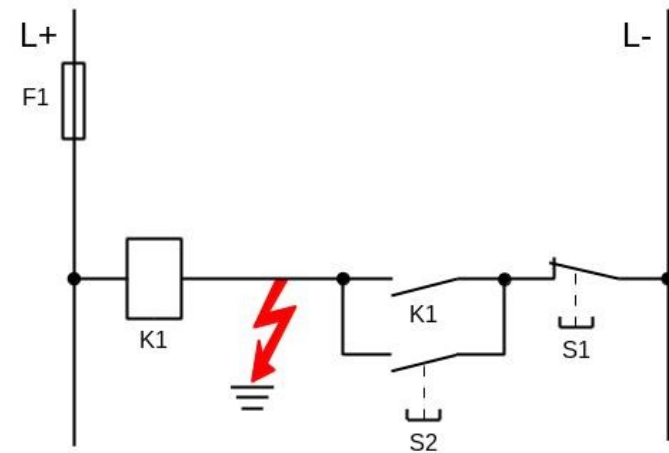
Sposób przyłączania urządzeń w obwodach sterowniczych zasilanych metodą a1

Urządzenia wykonawcze wchodzące w skład obwodów sterowniczych powinny być przyłączane jednym biegunem do uziemionego przewodu zasilania w metodzie a1.

W przypadku nieprawidłowego połączenia zwarcie do uziemionej obudowy spowoduje: wzbudzenie stycznika K1, brak możliwości wyłączenia obwodu przyciskiem S1 oraz niezadziałanie bezpiecznika F1.



Prawidłowy sposób połączeń w obwodzie sterowniczym zasilanym metodą a1



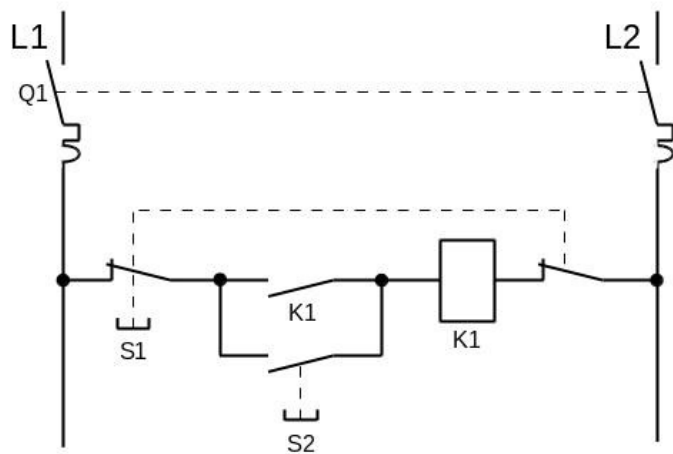
Nieprawidłowy sposób połączeń w obwodzie sterowniczym zasilanym metodą a1

Obwody pomocnicze zestawów

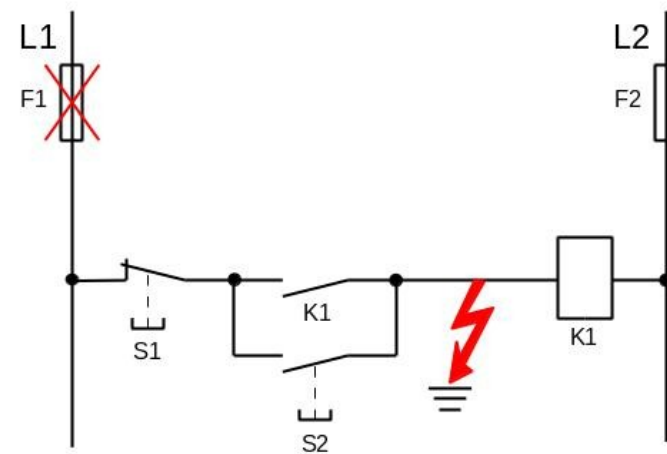
Sposób przyłączania urządzeń w obwodach sterowniczych zasilanych metodą b1 lub d1b

W przypadku zasilania obwodów sterowniczych metodą b1 (lub przy międzyfazowym zasilaniu metodą d1b) do uruchomienia funkcji zatrzymania maszyny należy stosować wielobiegunowe łączniki odłączające wszystkie przewody czynne.

W przypadku nieprawidłowego połączenia zwarcie do uziemionej obudowy spowoduje: wzbudzenie stycznika K1, brak możliwości wyłączenia obwodu przyciskiem S1, zadziałanie bezpiecznik F1 i niezadziałanie bezpiecznika F2.



Prawidłowy sposób połączeń w obwodzie sterowniczym zasilanym metodą b1 lub d1b



Nieprawidłowy sposób połączeń w obwodzie sterowniczym zasilanym metodą b1 lub d1b

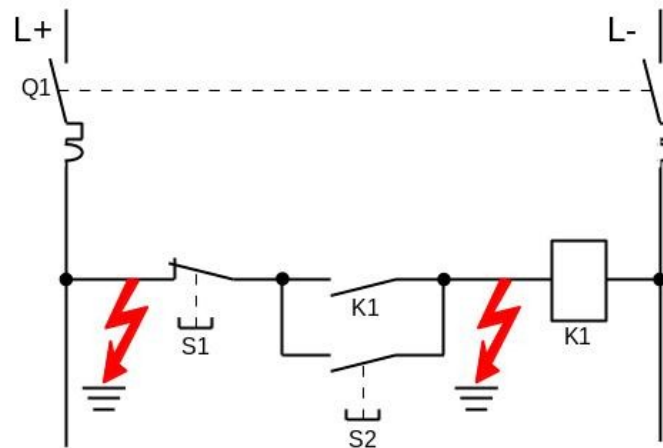
Obwody pomocnicze zestawów

Środki zmniejszania ryzyka w przypadku uszkodzenia – uziemienie

Uziemienie obwodów sterowniczych zmniejsza możliwość wystąpienia ryzyka związanego z podwójnym uszkodzeniem – zwarcie do obudowy. Podwójne uszkodzenie w nieziemionych obwodach sterowniczych może spowodować wzbudzenie łączników samoczynnych i niespodziewane uruchomienie urządzeń.

Podwójne uszkodzenie jest mało prawdopodobne, ale w obwodach sterowniczych okolicznościami sprzyjającymi wystąpieniu takich uszkodzeń mogą być: mała grubość izolacji przewodów, duża długość przewodów, stykanie się przewodów z elementami metalowymi oraz brak oznak pierwszego uszkodzenia umożliwiającą jego wykrycie.

Dodatkowo uziemienie obwodów sterowniczych zmniejsza wpływ zakłóceń elektromagnetycznych, obwody wyposażone w sterowniki PLC i inne wrażliwe wyposażenie elektroniczne powinny mieć uziemiony biegun zasilania.

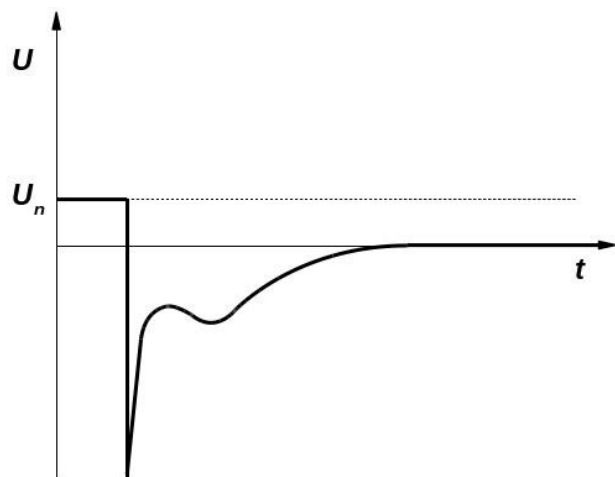


Podwójne uszkodzenie – zwarcie do obudowy w nieziemionych obwodach sterowniczych może spowodować wzbudzenie łącznika samoczynnego K1

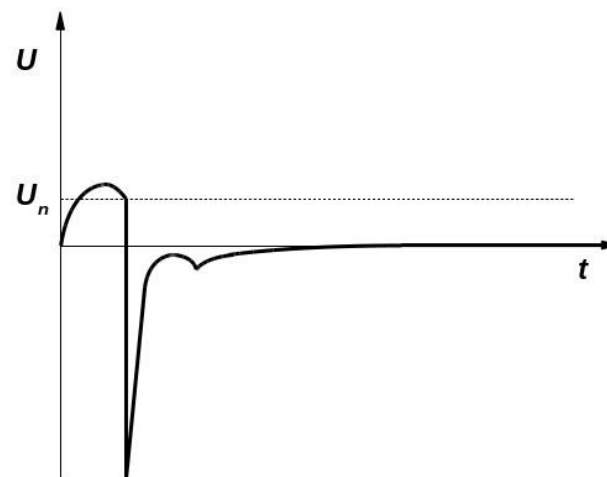
Obwody pomocnicze zestawów

Ochrona przeciwprzebiegiowa

Odłączanie napięcia od wyposażenia o charakterze indukcyjnym takiego jak cewki: przekaźników, styczników, elektrozaworów i hamulców elektromagnetycznych powoduje przepięcie związane z samoindukcją tego wyposażenia. Indukowane przepięcia wielokrotnie przewyższają wartość napięcia znamionowe obwodu, do którego są przyłączone. Przepięcia powodują szybką degradację zestyków załączających elementy indukcyjne i mogą powodować uszkodzenia elementów elektronicznych załączających takie elementy.



Przebieg napięcia na cewce przekaźnika po odłączenia zasilania prądem stałym

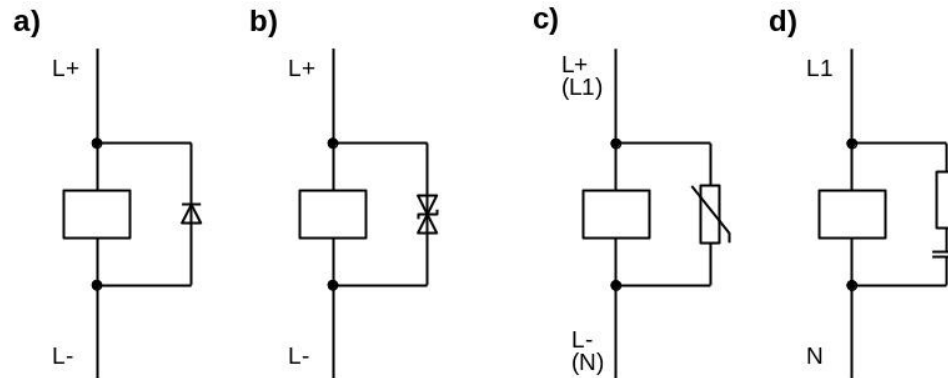
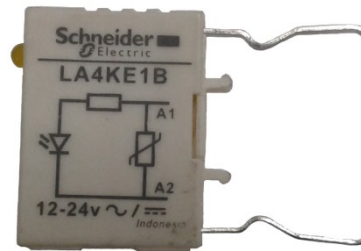
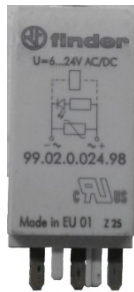


Przebieg napięcia na cewce przekaźnika po odłączenia zasilania prądem przemiennym

Obwody pomocnicze zestawów

Ochrona przeciwprzebieciowa

Najprostszym i najskuteczniejszym zabezpieczeniem przed przebieciami indukowanymi na cewkach przy napięciu stałym jest dioda prostownicza np. 1N4007 (1 A/1000 V). Innymi elementami zabezpieczającymi mogą być diody lawinowe (DC), warystory (DC i AC) i filtry RC (AC). Stosowanie diod jako ochronników przeciwprzebieciowych powoduje około trzykrotne zwiększenie czasu odzwbudzenia łączników samoczynnych.

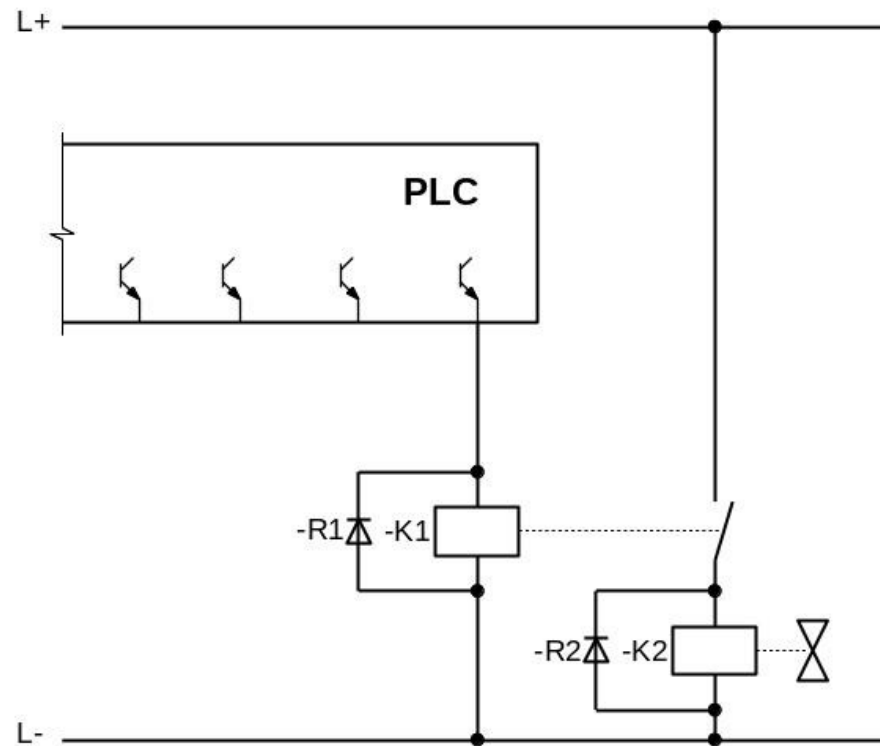


Sposoby ochrony przeciwprzebieciowej elementów załączających wyposażenie indukcyjne; a) diodą prostowniczą lub diodą Zenera, b) diodą lawinową, c) warystorem (przy zasilaniu napięciem stałym); c) warystorem, d) filtrem RC (przy zasilaniu napięciem przemiennym)

Obwody pomocnicze zestawów

Ochrona przeciwprzebieciowa

Dioda R1 chroni układy elektroniczne sterownika przed przebieciami indukowanymi na cewce przekaźnika K1. Dioda R2 chroni zestyk przekaźnika K1 przed przebieciami indukowanymi na cewce elektrozaworu K2.



Ochrona przed przebieciami indukowanymi na cewkach przekaźnika K1 i elektrozaworu K2

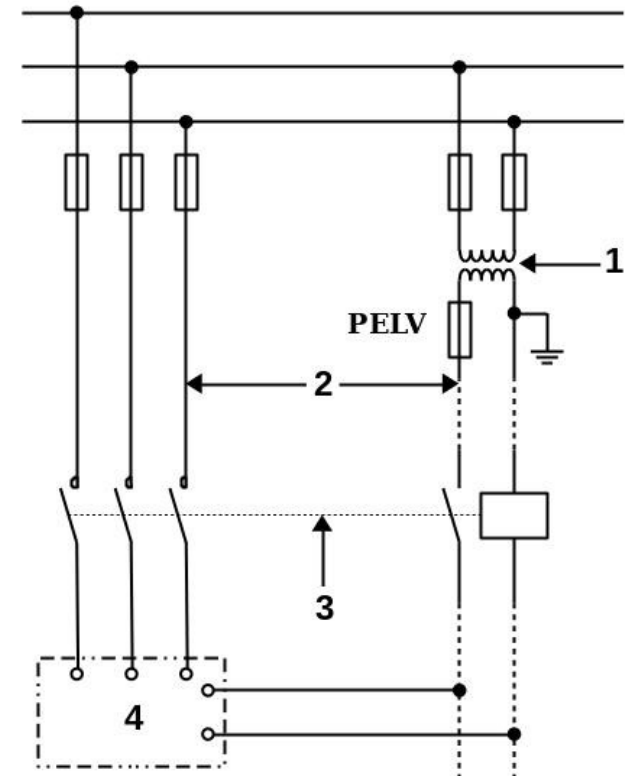
Obwody pomocnicze zestawów

Obwody sterownicze – układ PELV

PELV (ang. *Protective Extra Low Voltage*) – obwód napięcia bardzo niskiego, zasilany ze źródła bezpiecznego, zapewniający niezawodne oddzielenie elektryczne od innych obwodów. Obwody PELV posiadają uziemienie robocze.

Napięcie znamionowe obwodów PELV w instalacjach maszyn nie powinno przekraczać:

- 25 V wartości skutecznej prądu przemiennego lub 60 V prądu stałego, wolnego od tętnień, gdy wyposażenie jest zwykle eksploatowane w pomieszczeniu suchym i gdy nie przewiduje się rozległego zetknięcia się części czynnych z ciałem człowieka;
- 6 V wartości skutecznej prądu przemiennego lub 15 V prądu stałego, wolnego od tętnień we wszystkich innych przypadkach.



Przykładowe miejsca, w których obwody PELV powinny posiadać ochronne oddzielenie elektryczne: 1 – źródło zasilania PELV;
2 – przewody innych obwodów;
3 – stycznik (cewka i zestyki pomocnicze);
4 – urządzenie (izolacja wewnętrzna)

Obwody pomocnicze zestawów

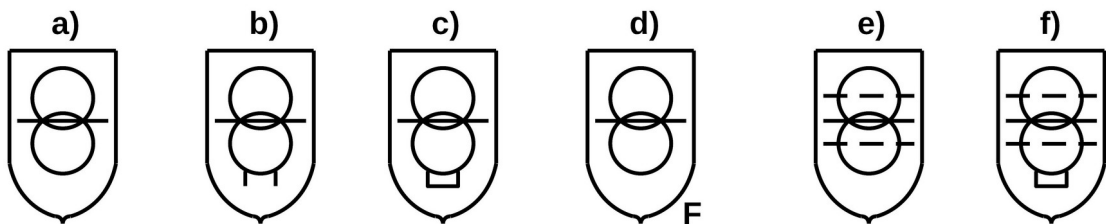
Obwody sterownicze – układ PELV

Obwody PELV jako środek ochrony zapewnia:

- ograniczenie napięcia w obwodzie, który może być uziemiony i/lub jego części przewodzące dostępne mogą być uziemione;
- ochronne oddzielenie elektryczne obwodu PELV od wszystkich innych obwodów z wyjątkiem obwodów SELV i PELV.

Źródłami zasilania obwodów PELV mogą być:

- transformator bezpieczeństwa;
- przetwornica bezpieczeństwa;
- prądnica napędzana silnikiem nielektrycznym;
- ogniwo galwaniczne;
- bateria akumulatorów;
- specjalny zasilacz elektroniczny.



Symbole transformatorów bezpieczeństwa:
a) transformator bezpieczeństwa (symbol ogólny);
b) transformator bezpieczeństwa nieodporny na zwarcie;
c) transformator bezpieczeństwa odporny na zwarcie;
d) transformator bezpieczeństwa bezpieczny w przypadku uszkodzenia;
e) transformator bezpieczeństwa tłumiący zakłócenia;
f) transformator bezpieczeństwa tłumiący zakłócenia, odporny na zwarcie.

Obwody pomocnicze zestawów

Obwody sterownicze – ochronne oddzielenie elektryczne pomiędzy obwodami

Ochronne oddzielenie elektryczne (separacja ochronna) pomiędzy różnymi obwodami może być osiągnięte za pomocą:

- izolacji podstawowej i izolacji dodatkowej (izolacja podwójna) przewidzianych na największe napięcie na jakie mogą być narażone lub
- izolacji wzmocnionej przewidzianej na największe napięcie na jakie może być narażona lub
- ekranowaniem ochronnym lub
- kombinacją tych środków.

Jeżeli przewody obwodu, dla którego zastosowano ochronne oddzielenie elektryczne są żyłami tego samego przewodu wielożyłowego, lub są w innym zgrupowaniu z przewodami innych obwodów to powinny być izolowane indywidualnie lub wspólnie na największe napięcie na jakie mogą być narażone.

Ekranowanie ochronne powinno składać się z ekranu przewodzącego umieszczonego pomiędzy częściami czynnymi niebezpiecznymi instalacji lub urządzenia i częściami chronionymi.

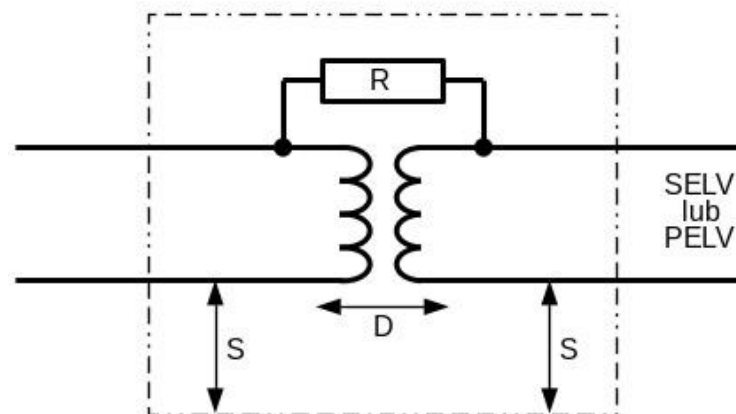
Ekran ochronny powinien:

- być przyłączony do układu połączeń wyrównawczych ochronnych;
- spełniać wymagania dotyczące elementów układu połączeń wyrównawczych ochronnych.

Obwody pomocnicze zestawów

Obwody sterownicze – ochronne oddzielenie elektryczne pomiędzy obwodami

Jeżeli jakiś element jest przyłączony pomiędzy izolowanymi obwodami to taki element powinien wytrzymać napięcia elektryczne wymagane dla izolacji, którą mostkuje. Element powinien spełniać wymagania dla urządzenia ochronnego impedancyjnego. Urządzenie ochronne impedancyjne powinno niezawodnie ograniczać prąd dotykowy do wartości ustalonego prądu dotykowego.



**Element przyłączony pomiędzy obwodami z separacją ochronną (mostkowanie izolacji).
R – rezystancja mostkująca izolację ochronną.
S – izolacja podstawowa.
D – izolacja podwójna lub wzmocniona.**

Obwody pomocnicze zestawów

Transformatory sterownicze



400 VA – moc znamionowa długotrwała przy pracy ciągłej

1400 VA – moc krótkotrwała przy pracy dorywczej

PRI – strona pierwotna (ang. primary)

230/400 V – napięcie znamionowe

SEC – strona wtórna (ang. secondary)

230 V – napięcie znamionowe

2A gG – największy dopuszczalny prąd znamionowy bezpiecznika jako zabezpieczenia strony wtórnej

2A C – największy dopuszczalny prąd znamionowy wyłącznika jako zabezpieczenia strony wtórnej

Transformator sterowniczy o mocy znamionowej 400 VA

Obwody pomocnicze zestawów

Transformatory sterownicze

Transformatory sterownicze są transformatorami izolacyjnymi (o oddzielnych uzwojeniach) przystosowanymi do zasilania obwodów sterowniczych. Moc transformatorów sterowniczych jest podawana w dwóch wartościach np. 400/1400 VA i oznacza: 400 VA – moc znamionowa dopuszczalna długotrwale; 1400 VA – moc dopuszczalna krótkotrwale.

Moc znamionowa dopuszczalna długotrwale ($\cos\varphi = 1$) jest sumą mocy trzymania urządzeń wykonawczych (styczniki, elektrozawory) i mocy urządzeń sygnalizacyjnych (lampki sygnalizacyjne).

Moc dopuszczalna krótkotrwale ($\cos\varphi = 0,5$) jest związana z zasilaniem urządzeń o dużym prądzie załączeniowym i jest sumą mocy trzymania urządzeń wykonawczych, mocy urządzeń sygnalizacyjnych i mocy załączeniowej elementów wykonawczych takich jak styczniki mocy.

$$P_{inrush} = 0,8 \cdot \left(\sum P_m + \sum P_v + P_a \right)$$

gdzie:

P_{inrush} – moc transformatora dopuszczalna krótkotrwale

0,8 – współczynnik jednoczesności

P_m – moc trzymania przekaźników styczników zaworów elektromagnetycznych

P_v – moc urządzeń sygnalizacyjnych

P_a – moc załączeniowa stycznika mocy

Dobór zabezpieczeń strony pierwotnej transformatorów sterowniczych powinien uwzględniać prąd rozruchowy, który wynosi $I_{inrush} = 20 \div 25 I_n$.

Strona pierwotna transformatora nie musi być zabezpieczona przed przeciążeniem dlatego mogą być zastosowane bezpieczniki niepełnozakresowe klasy aM.

Obwody pomocnicze zestawów

Transformatory sterownicze

Moc znamionową transformatora można obliczyć z zależności:

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

Prąd znamionowy transformatora można obliczyć z zależności

$$I_1 = \frac{P}{U_1} \qquad I_2 = \frac{P}{U_2}$$

Przekładnię transformatora można obliczyć z zależności:

$$\vartheta = \frac{U_1}{U_2} \qquad \vartheta = \frac{I_2}{I_1}$$

Prąd zwarcia transformatora można obliczyć z zależności:

$$I_{1k} = I_{1n} \cdot \frac{100\%}{U_{k\%}} \qquad I_{2k} = I_{1k} \cdot \vartheta$$

Obwody pomocnicze zestawów

Transformatory sterownicze

Transformator sterowniczy LEGRAND 42466 o mocy 400/1400 W, o napięciu strony pierwotnej 400 V i napięciu strony wtórnej 230 V powinien być zabezpieczony wg producenta po stronie pierwotnej bezpiecznikiem aM 2 A, wyłącznikiem C 6 A lub wyłącznikiem D 2 A. Po stronie wtórnej jako zabezpieczenie przetężeniowe powinien być zastosowany bezpiecznik gG 2 A , lub wyłącznik C 2 A.

Prąd znamionowy strony pierwotnej wynosi: $I_{n1} = P / U1 = 400 / 400 = 1,00 \text{ A}$

Zabezpieczenie zwarciove strony pierwotnej powinno przetrzymywać prąd rozruchowy wynoszący 25 A pobierany przez czas 10 ms.

Prąd znamionowy strony wtórnej wynosi: $I_{n2} = P / U2 = 400 / 230 = 1,74 \text{ A}$

Zabezpieczenie przetężeniowe strony wtórnej powinno spełniać zależność: $1,10 \div 1,25 I_{n2} = 1,25 \times 1,74 = 2,2 \text{ A}$.

Przekładnia transformatora wynosi: $\vartheta = U2 / U1 = 400 / 230 = 1,74$

Obwody pomocnicze zestawów

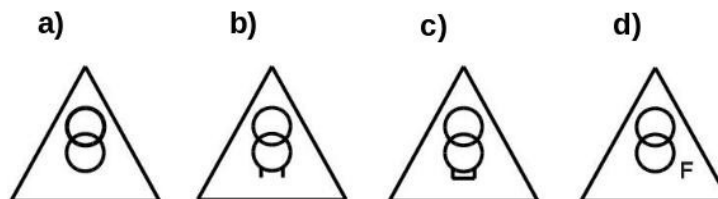
Transformatory sterownicze

Napięcie zwarcia transformatora sterowniczego LEGRAND 42466 wynosi $U_{k\%} = 4,1 \%$.

Prądy zwarcia transformatora sterowniczego LEGRAND 42466 wynoszą:

$$I_{1k} = I_{1n} \times (100\% / U_{k\%}) = 1,0 \times (100 / 4,1) = 24,4 \text{ A}$$

$$I_{2k} = I_{1n} \times \vartheta = 24,4 \times 1,74 = 42,5 \text{ A}$$

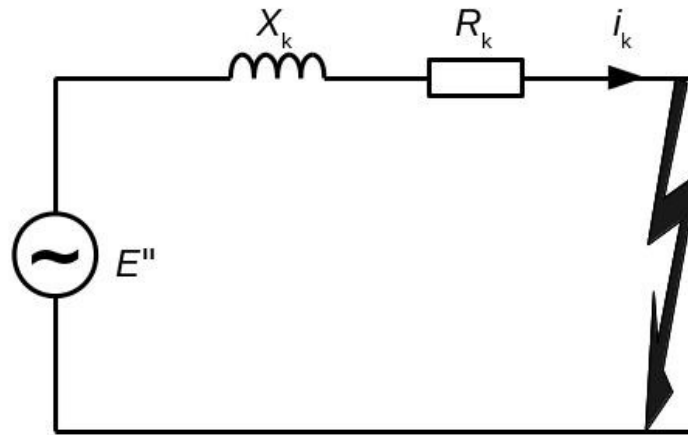


Symbole transformatorów bezpieczeństwa:
a) transformator bezpieczeństwa (symbol ogólny);
b) transformator bezpieczeństwa nieodporny na zwarcie;
c) transformator bezpieczeństwa odporny na zwarcie;
d) transformator bezpieczeństwa bezpieczny w przypadku uszkodzenia.

Narażenia zwarciove

Zwarcia

Zwarcia powodują narażenia cieplne i elektrodynamiczne urządzeń elektrycznych. Narażenia cieplne spowodowane przewodzeniem prądu zwarciovego mogą być określone przez największą wartość całki Jouel'a wyłączenia (I_{tw}^2), a narażenia elektrodynamiczne za pomocą prądu zwarciovego udarowego (i_p) lub największego prądu granicznego (i_o).



Uproszczony obwód zwarciovego prądu przemiennego

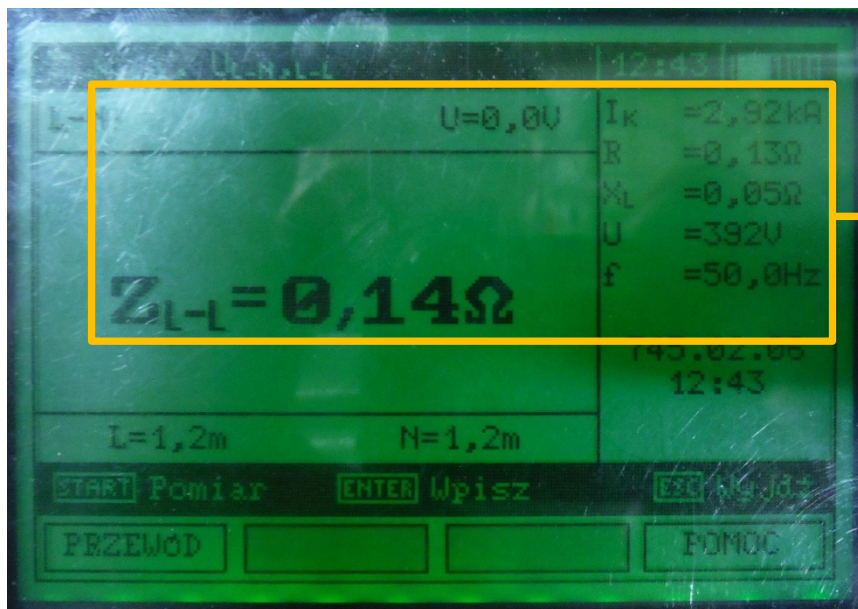
$$I_k'' = \frac{E''}{Z_k''}$$

Narażenia zwarciove

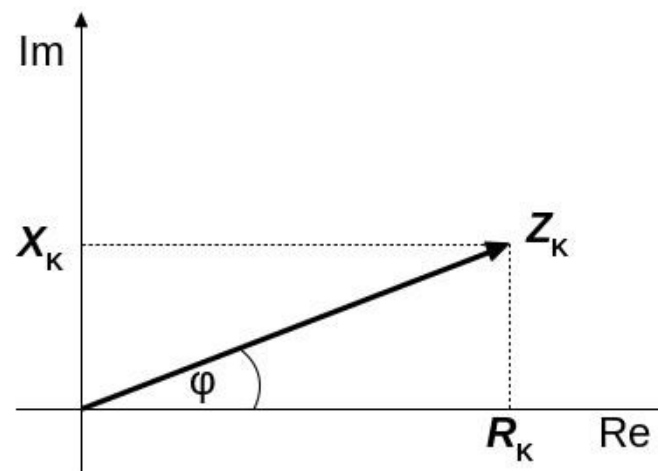
Impedancja obwodu zwarciovego

Impedancję obwodu zwarciovego można obliczyć ze wzoru:

$$Z_k = \sqrt{R_k^2 + X_k^2}$$



$$Z_k = \sqrt{0,13^2 + 0,05^2} = 0,14\Omega$$



Wynik międzyfazowego pomiaru impedancji pętli zwarciovej na wyświetlaczu przyrządu pomiarowego

Obwody pomocnicze zestawów

Transformatory sterownicze

Ze względu na skuteczność samoczynnego wyłączenia zasilania przekrój przewodów w obwodach sterowniczych zasilanych z transformatorów jednofazowych powinien być dobrany tak aby został spełniony warunek:

$$I''_{k1min} = \frac{C_{min} \cdot U_n}{\sqrt{X_T^2 + R_z^2}} \geq I_a$$

gdzie:

I''_{k1min} – najmniejszy spodziewany prąd zwarciovowy początkowy przy zwarciu jednofazowym

I_a – najmniejsza wartość prądu, powodująca zadziałanie urządzenia zabezpieczającego w wymaganym czasie

C_{min} – wartość współczynnika korekcyjnego siły elektromotorycznej obwodu zwarciovowego przy obliczaniu najmniejszego prądu zwarciovowego

X_T – reaktancja transformatora

R_z – rezystancja obwodu zwarciovowego

Powyższy wzór nie uwzględnia impedancji poprzedzającej transformator, obliczenia powinny być odpowiednio skorygowane.

Największą długość przewodów obwodu sterowniczego ze względu na skuteczność samoczynnego wyłączenia instalacji można obliczyć z zależności:

$$l \leq \gamma \cdot S \cdot \left[\sqrt{\left(\frac{C_{min} \cdot U_n}{I_a} \right)^2 - X_T^2} - R_{PE} \right]$$

gdzie:

l – długość przewodu

S – przekrój przewodu ochronnego

γ – konduktywność materiału, z którego wykonany jest przewód wyrównawczy

R_{PE} – rezystancja połączenia ochronnego

Wartość konduktywności dla przewodów miedzianych należy podzielić przez 1,25; w celu uwzględnienia nagrzewania przewodu prądem roboczym ($\gamma = 56/1,25 = 45$)

Narażenia zwarciove

Prąd zwarciovy udarovy

Prąd zwarciovy udarovy (i_p)

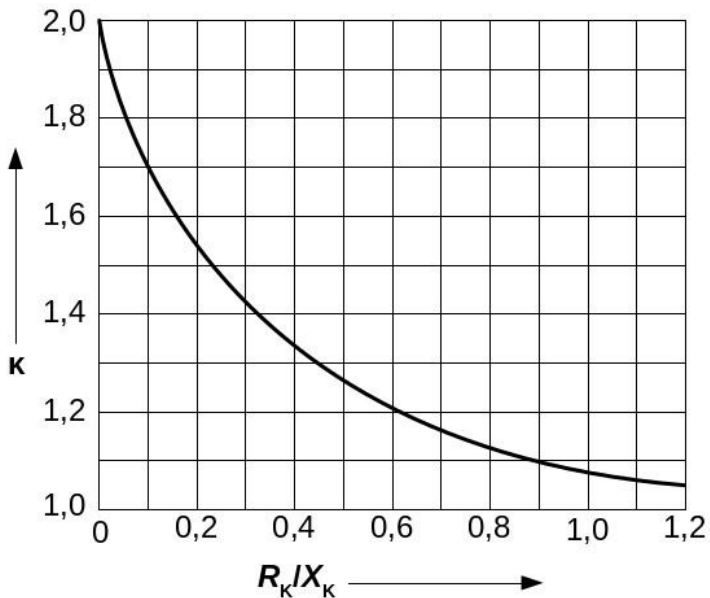
Występowanie składowej nieokresowej i_{bc} powoduje zwiększenie wartości szczytowej prądu zwarciovy, która może być większa od składowej okresowej i zależy od kąta fazowego napięcia ψ w chwili początkowej zwarcia.

Przy kącie $\psi = 0$ (napięcie przechodzi przez zero) wartość szczytowa prądu zwarciovy jest największa i jest określana jako prąd zwarciovy udarovy.

$$i_p = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_k''$$

W przybliżeniu prąd zwarciovy początkowy jest równy:

$$i_p \approx 2,55 \cdot I_k''$$



gdzie:

κ – współczynnik udaru

R_k – rezystancja zwarciova

X_k – reaktancja zwarciova

Współczynnik udaru κ – stosunek rezystancji R_k do reaktancji X_k obwodu zwarciovy

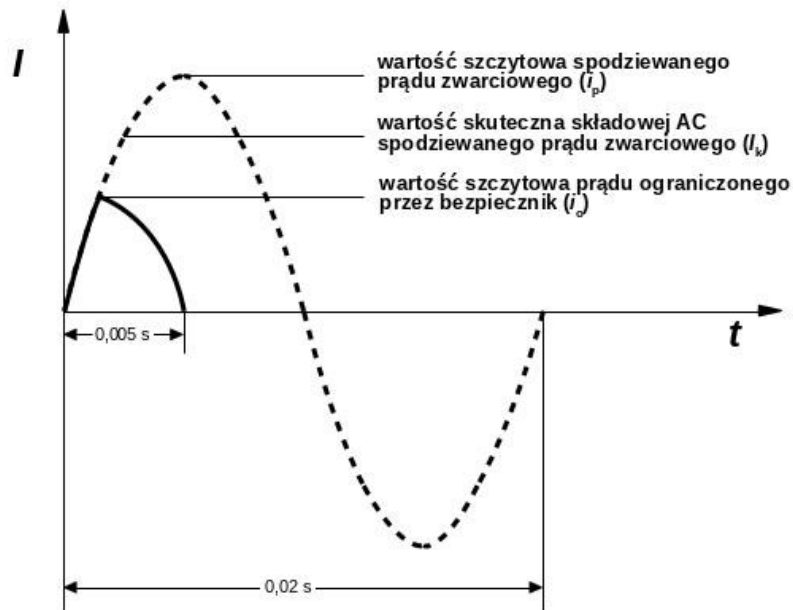
Narażenia zwarciove

Prąd zwarciovy ograniczony

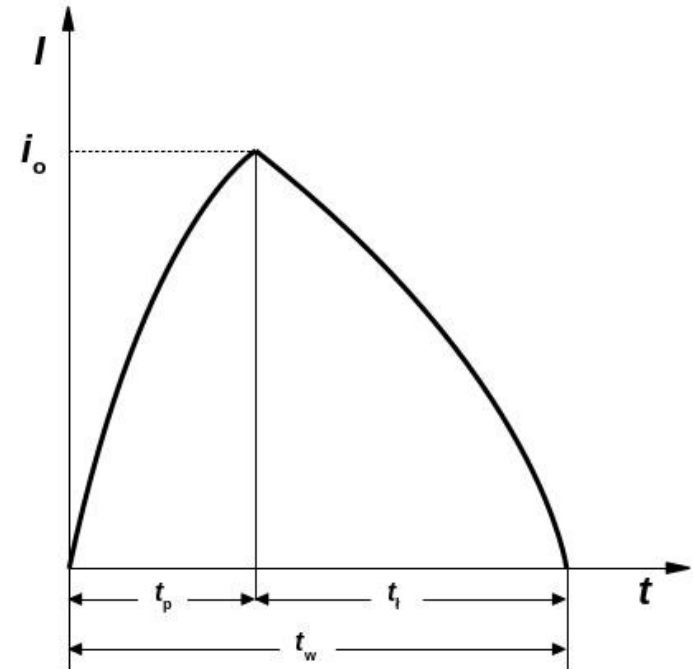
Prąd zwarciovy ograniczony (i_o) to wartość szczytowa impulsu prądowego przepuszczonego przez urządzenie wyłączające w czasie wyłączania prądu zwarciovego.

Wartość prądu zwarciovego ograniczonego zależy od współczynnika udaru i może być obliczona ze wzoru:

$$i_o = \sqrt{2} \kappa I_k''$$



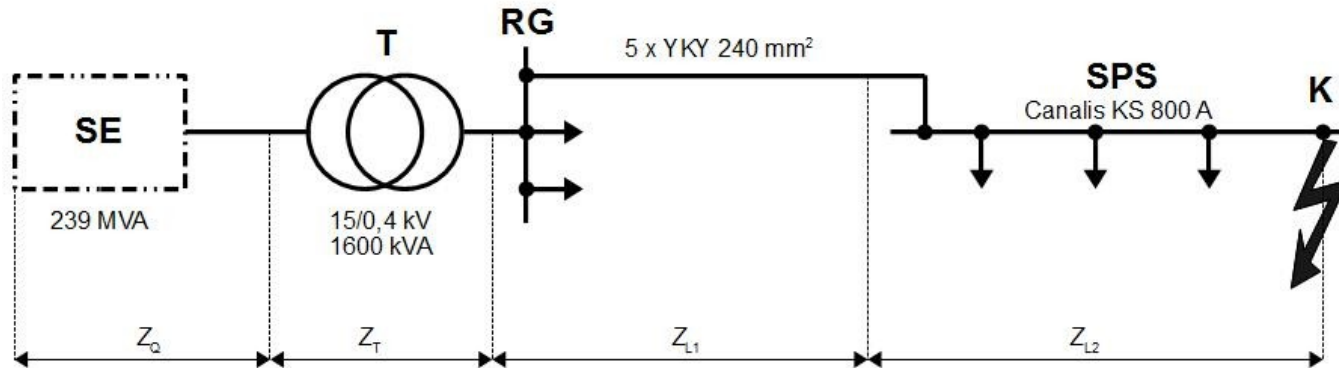
Przebieg prądu ograniczonego wkładki topikowej i przebieg spodziewanego prądu zwarciovego



Przebieg prądu ograniczonego wkładki topikowej w funkcji czasu: t_p – czas przedłukowy; t_i – czas łukowy; t_w – czas wyłączenia.

Narażenia zwarciove

Przykład obliczania prądu zwarciovego 1/3



Schemat fragmentu sieci elektroenergetycznej z zaznaczonym miejscem zwarcia:
 SE – system elektroenergetyczny; T – transformator; RG – rozdzielna główna;
 SPS – system przewodów szynowych; K – miejsce zwarcia.

Impedancję (Z_Q), reaktancję (X_Q) i rezystancję (R_Q) systemu elektroenergetycznego oblicza się ze wzorów:

$$Z_Q = \frac{c_{max} \cdot U_{n1}^2}{S''_Q} \cdot \left(\frac{U_{rT2}}{U_{rT1}} \right)^2 = \frac{1,10 \cdot 15000^2}{239 \cdot 10^6} \cdot \left(\frac{400}{15750} \right)^2 = 0,668 \text{ m}\Omega$$

$$X_Q = 0,995 \cdot Z_Q = 0,1 \cdot 0,000668 = 0,665 \text{ m}\Omega$$

$$R_Q = 0,1 \cdot X_Q = 0,1 \cdot 0,000666 = 0,066 \text{ m}\Omega$$

Narażenia zwarciove

Przykład obliczania prądu zwarciovego 2/3

Rezystancję (R_T), reaktancję (X_T) i impedancję (Z_T) transformatora oblicza się ze wzorów:

$$Z_T = \frac{\Delta U_{k\%} \cdot U_n^2}{100 \cdot S_{nT}} = \frac{6 \cdot 160000}{100 \cdot 160000} = 60,00 \text{ m}\Omega$$
$$R_T = \frac{\Delta P_{n\%} \cdot U_n^2}{100 \cdot S_{nT}} = \frac{0,11 \cdot 160000}{100 \cdot 160000} = 1,10 \text{ m}\Omega$$
$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2} = \sqrt{0,06^2 - 0,0011^2} = 59,00 \text{ m}\Omega$$

gdzie:

$\Delta U_{k\%}$ - napięcie zwarcia transformatora

$\Delta P_{n\%}$ - strata mocy czynnej w uzwojeniach transformatora przy obciążeniu znamionowym

Rezystancję (R_{L1}) i reaktancję (X_{L1}) linii zasilającej L1 obliczono ze wzoru:

$$R_{L1} = \frac{l}{\gamma \cdot S} = \frac{70}{57 \cdot 240} = 5,12 \text{ m}\Omega$$
$$X_{L1} = x'_L \cdot l = 0,075 \cdot 70 = 5,25 \text{ m}\Omega$$

Rezystancję (R_{L2}) i reaktancję (X_{L2}) systemu przewodów szynowych L2 obliczono na podstawie danych producenta:

$$R_{L2} = 0,06 \text{ m}\Omega/\text{m} \cdot l = 0,06 \cdot 7 = 0,42 \text{ m}\Omega$$
$$X_{L2} = 0,06 \text{ m}\Omega/\text{m} \cdot l = 0,06 \cdot 7 = 0,42 \text{ m}\Omega$$

gdzie:

l – długość przewodu

γ – konduktywność materiału żył przewodu, $\text{m}/\Omega \cdot \text{mm}^2$ (dla miedzi 56)

S – przekrój żył przewodu

x'_L – reaktancja jednostkowa Ω/m

Narażenia zwarciove

Przykład obliczania prądu zwarciovego 3/3

Impedancja obvodu zwarciovego (Z_k):

$$R_k = R_Q + R_T + R_{L1} + R_{L2} = 0,066 + 1,10 + 5,12 + 0,42 = 6,71 \text{ m}\Omega$$

$$X_k = X_Q + X_T + X_{L1} + X_{L2} = 0,67 + 59,00 + 5,25 + 0,42 = 6,53 \text{ m}\Omega$$

$$Z_k = \sqrt{R_k^2 + X_k^2} = \sqrt{0,006710^2 + 0,006534^2} = 9,37 \text{ m}\Omega$$

Wartość maksymalna prądu zwarciovego przy zwarciove trójfazowym (I_{k3}):

$$I_{k3}'' = \frac{c_{max} \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_k} = \frac{1,00 \cdot 400}{\sqrt{3} \cdot 0,009365} = 24,66 \text{ kA}$$

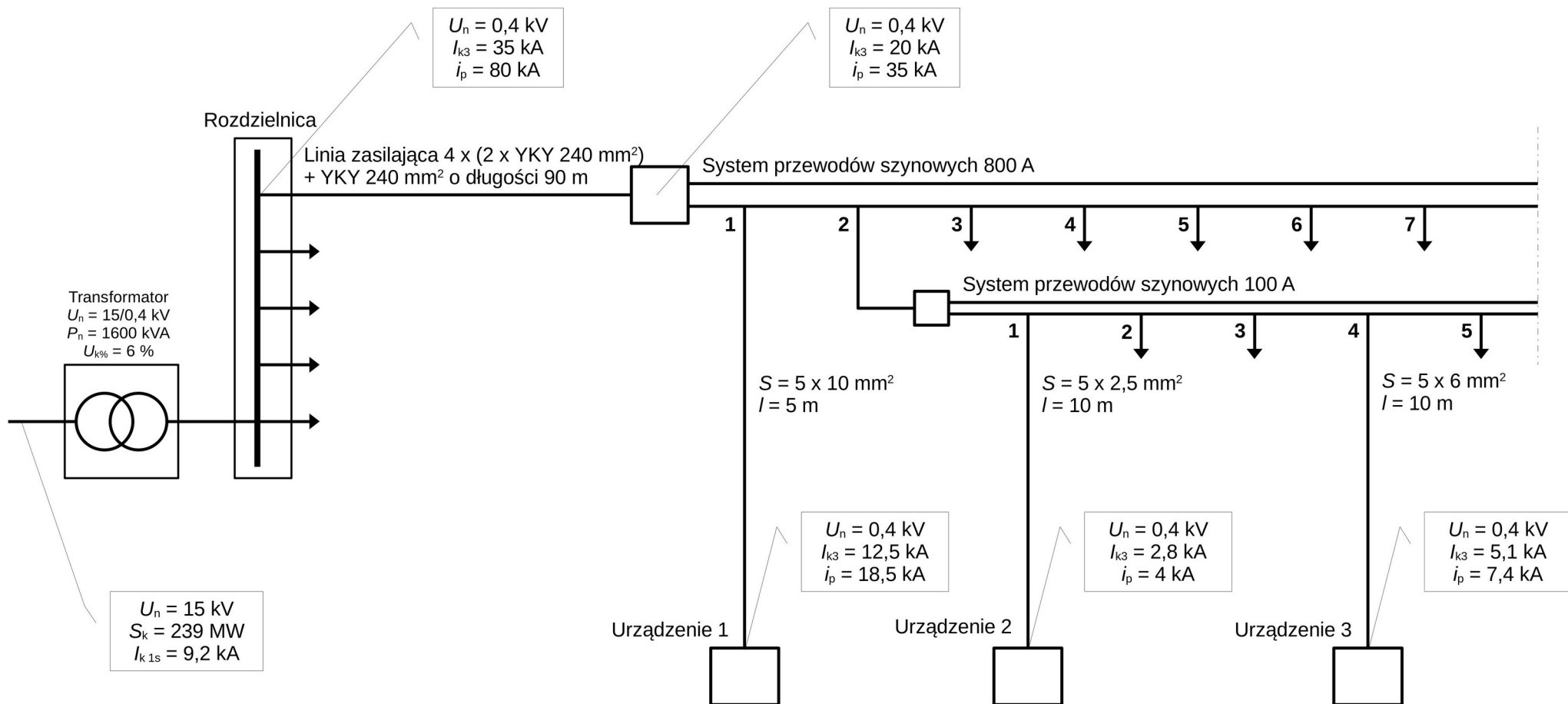
Prąd udarowy (i_p):

$$i_p = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_{k3}'' = 1,05 \cdot \sqrt{2} \cdot 24660 = 36,62 \text{ kA}$$

Obliczenia nie są obliczeniami dokładnymi.

Narażenia zwarcowe

Przykładowe wartości prądów zwarcowych



Przykładowe wartości prądów zwarcowych w różnych miejscach instalacji przemysłowej

Narażenia zwarciove

Ogólne zasady doboru urządzeń elektrycznych ze względu na narażenia zwarciove

Wyposażenie elektryczne powinno mieć wytrzymałość zwarciową co najmniej równą wartości spodziewanego prądu zwarciovego (I_{cp}) w miejscu eksploatacji.

W przypadku trudności z doбором wyposażenia o odpowiedniej wytrzymałości zwarciovej, można stosować różne rozwiązania techniczne, prowadzące do zwiększenia wytrzymałości zwarciovej lub ograniczenia wartości prądu zwarciovego, takie jak np.:

- stosowanie bezpieczników i/lub wyłączników ograniczających prąd zwarciovy;
- dobezpieczanie łączników i innych urządzeń bezpiecznikami lub wyłącznikami ograniczającymi prąd zwarciovy;
- stosowanie rozłączników bezpiecznikowych zamiast rozłączników;
- stosowanie wyłączników RCD typu RCBO zamiast wyłączników RCD typu RCCB;
- zasilanie urządzeń za pomocą transformatorów izolacyjnych;
- zwiększenie długości przewodu zasilającego (jeżeli jest taka możliwość).

Jeżeli do określenia wytrzymałości zwarciovej rozdzielnicy lub łącznika używa się znamionowy prąd zwarciovy umowny I_{cc} , to należy stosować przewidziane przez producenta urządzenie dobezpieczające. W przypadku zastosowania zabezpieczeń innego typu niż podane przez producenta, należy porównać charakterystyki obu urządzeń zabezpieczających w celu sprawdzenia czy wytrzymałość zwarciova urządzenia nie zostanie przekroczona.

Przykładowo, jeżeli producent rozłącznika podał znamionowy prąd zwarciovy umowny $I_{cc} = 10 \text{ kA}$ (gG 20), to warunkiem zastosowania rozłącznika w obwodach, o spodziewanym prądzie zwarciowym $\leq 10 \text{ kA}$ jest dobezpieczenie z pomocą bezpiecznika gG 20.

Jeżeli do dobezpieczenia zastosowano wyłącznik instalacyjny C20, to należy sprawdzić i porównać „przepuszczaną” wartość Całki Joule`a i wartość prądu ograniczonego, obu zabezpieczeń (gG 20 i C20). Takie sprawdzenie, wykaże konieczność zastosowania wyłącznika instalacyjnego C16 zamiast C20, aby nie narażać rozłącznika na przekroczenie jego wytrzymałości zwarciovej.

Narażenia zwarciove

Zestaw rozdzielnic i sterownicy

Producent rozdzielnic wyposażonych w zabezpieczenie zwarciove w bloku zasilającym, podaje największą dopuszczalną wartość prądu zwarciovego na zaciskach wejściowych rozdzielnic ($I_{cp \max}$). W przypadku rozdzielnic bez zabezpieczenia zwarciovego w bloku zasilającym, wytrzymałość zwarciową podaje się jednym z dwóch podanych sposobów:

- prąd znamionowy krótkotrwały wytrzymałwany – I_{CW} z przyporządkowanym mu czasem i prąd znamionowy szczytowy wytrzymałwany – I_{pk} ;
- prąd znamionowy zwarciovy umowny (I_{cc}).

Sprawdzeniu polega możliwość zainstalowania rozdzielnic w danym miejscu instalacji przez porównanie wytrzymałości zwarciovej rozdzielnic i spodziewanego prądu zwarciovego w miejscu instalacji.

Dodatkowo należy sprawdzić czy urządzenia zamontowane w rozdzielnic mają odpowiednią wytrzymałość zwarciova w stosunku do wartości spodziewanego prądu zwarciovego.

Badanie wytrzymałości zwarciovej rozdzielnic (test) nie jest wymagane w przypadku rozdzielnic o prądzie I_{CW} lub I_{cc} nie przekraczającym 10 kA wartości skutecznej, lub posiadających zabezpieczenie zwarciove ograniczające prąd zwarciovy do wartości nieprzekraczającej 17 kA na zaciskach wejściowych rozdzielnic.

Narażenia zwarciove

Zestaw rozdzielnic i sterownicy

Sprawdzenie możliwości zastosowania rozdzielnic w danym miejscu instalacji polega na sprawdzeniu czy prąd zwarciovy krótkotrwały wytrzymaemy (I_{cw}) rozdzielnic gwarantuje odpowiednią wytrzymałość na cieplne oddziaływanie prądu zwarciovego.

$$I_{cw}^2 t \geq I^2 t_w$$

gdzie:

$I^2 t_w$ – całka Joule'a wyłączenia urządzenia zabezpieczającego

$I_{cw}^2 t_r$ – całka Joule'a wytrzymaemywana przez rozdzielnicę

oraz na sprawdzeniu czy znamionowy prąd szczytowy (I_{pk}) wytrzymaemywana przez rozdzielnicę jest nie mniejszy niż prąd zwarciovy szczytowy (i_p) lub prąd zwarciovy ograniczony (i_o) zabezpieczenia przed rozdzielnicą po stronie zasilania.

$$I_{pk} = I_{cw} \cdot n$$

$$I_{pk} \geq i_p$$

$$I_{pk} \geq i_o$$

Współczynnik n

Wartość skuteczna prądu zwarciovego kA	Współczynnik mocy $\cos \varphi$	Współczynnik n
$I_{cp} \leq 5$	0,7	1,5
$5 < I_{cp} \leq 10$	0,5	1,7
$10 < I_{cp} \leq 20$	0,3	2

Narażenia zwarciove

Zestaw rozdzielnic i sterownicy

Jeżeli prąd I_{cw} rozdzielnic nie jest znany, ustala się go na podstawie prądu I_{cw} łącznika w obwodzie zasilającym (2,1 kA) lub prądu I_{cw} szyn zbiorczych rozdzielnic (4,4 kA).

Prąd zwarciovy krótkotrwały wytrzymaemy rozdzielnic $I_{cw} = 2,1 \text{ kA}$ (1 s)

Prąd zwarciovy spodziewany $I_{cp} = 2,3 \text{ kA}$

Zabezpieczenie rozdzielnic po stronie zasilania – bezpiecznik topikowy cylindryczny 100 A 400 V (22 x 58).

Całka Joule'a wyłączenia bezpiecznika topikowego cylindrycznego 100 A 400 V (22 x 58) $I_{tw}^2 = 90 \text{ kA}^2\text{s}$

Całka Joule'a wytrzymaemy przez rozdzielnicę $I_{cw}^2 t = 4,41 \text{ MA}^2\text{s}$

4,41 MA²s ≥ 90 kA²s – zależność $I_{cw}^2 t \geq I_{tw}^2$ jest spełniona, rozdzielnica jest prawidłowo zabezpieczona przed skutkami cieplnego oddziaływania prądu zwarciovego w miejscu instalacji.

Prąd zwarciovy szczytowy $I_{pk} = I_{cw} \cdot n = 2,3 \cdot 1,5 = 3,45 \text{ kA}$

Prąd zwarciovy szczytowy instalacji $i_p = 4,6 \text{ kA}$

3,45 kA < 4,6 kA – zależność $I_{pk} \geq i_p$ nie jest spełniona, rozdzielnica nie jest prawidłowo zabezpieczona przed skutkami elektrodynamicznego oddziaływania prądu zwarciovego w miejscu instalacji.

Dodatkowo należy sprawdzić czy urządzenia zamontowane w rozdzielnic mają odpowiednią wytrzymałość

zwarciową w stosunku do wartości spodziewanego prądu zwarciovego, np. wyłącznik nadprądowy B16 obwodu odbiorczego o prądzie znamionowym wyłączalnym zwarciowym granicznym $I_{cu} = 10 \text{ kA}$ jest dobrany prawidłowo.

Narażenia zwarciove

Przewody

Rozdzielnica jest zasilana przewodem wielożyłowym 5 x 35 mm² o izolacji z PVC zabezpieczonym bezpiecznikiem topikowym cylindrycznym 100 A 400 V (22 x 58).

$$I^2 t \leq k^2 S^2$$

Całka Joule'a wyłączenia bezpiecznika 100 A gG 400 V $I_{tw}^2 = 90 \text{ kA}^2\text{s}$

Wytrzymałość zwarciova przewodu $k^2 \times S^2 = 16,2 \text{ MA}^2\text{s}$

Zależność jest spełniona, wytrzymałość na cieplne działanie prądów zwarciowych na przewody jest wystarczająca.

$$90 \text{ kA}^2 \leq 16,2 \text{ MA}^2$$

Narażenia napięciowe

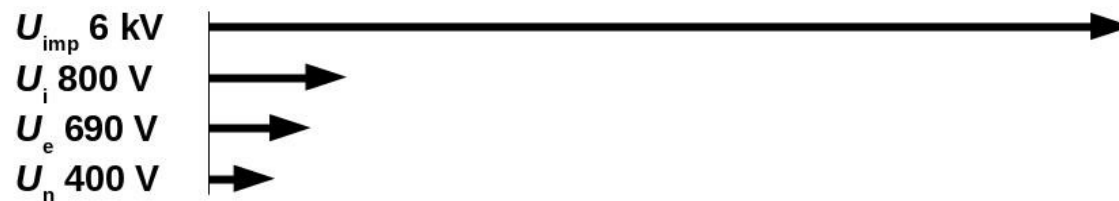
Napięcia znamionowe łączników niskonapięciowych

Napięcie znamionowe łączeniowe U_e – napięcie znamionowe łączeniowe urządzenia nie może być mniejsze niż napięcie znamionowe instalacji, do której to urządzenia jest przyłączone.

Napięcie znamionowe izolacji U_i – napięcie znamionowe izolacji urządzenia jest wartością napięcia, do której są odniesione napięcia probiercze i obliczenia odstępów izolacyjnych. Napięcie znamionowe izolacji nie powinno być mniejsze niż napięcie znamionowe i napięcie znamionowe łączeniowe ($U_i \geq U_n$ i $U_i \geq U_e$).

Napięcie znamionowe udarowe wytrzymywane U_{imp} – napięcie znamionowe udarowe wytrzymywane urządzenia powinno być nie mniejsze niż napięcia udarowe charakterystyczne dla kategorii przepięciowej dla jakiej urządzenia jest przeznaczone.

Napięcie znamionowe U_n – napięcie znamionowe instalacji.



Napięcia znamionowe łącznika niskonapięciowego

Narażenia napięciowe

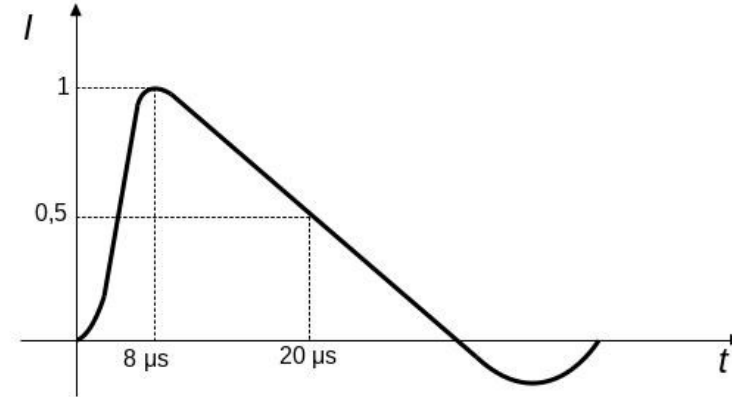
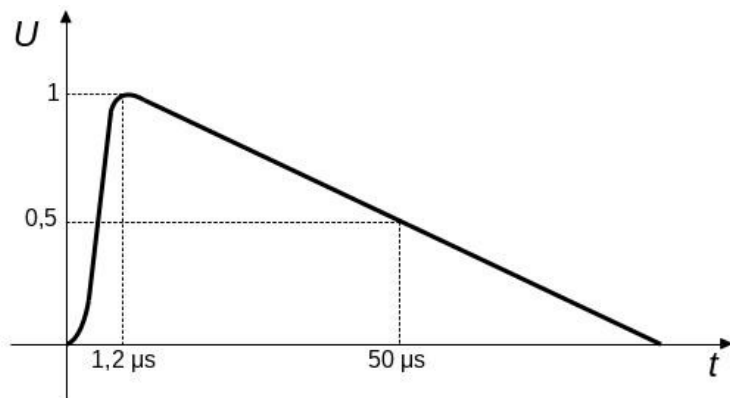
Koordinacja izolacji – kategorie przepięć

Kategoria przepięć IV – dotyczy instalacji i urządzeń na początku instalacji narażonych zarówno na przepięcia atmosferyczne jak i łączeniowe, np. złącze, układ pomiarowy, główne zabezpieczenie nadprądowe.

Kategoria przepięć III – dotyczy instalacji stałych i urządzeń w częściach instalacji nie narażonych bezpośrednio na przepięcia atmosferyczne, ale narażonych na ograniczone przepięcia atmosferyczne, np. urządzenia zasilane bezpośrednio z instalacji stałej.

Kategoria przepięć II – dotyczy instalacji i urządzeń nie narażonych bezpośrednio na przepięcia atmosferyczne, ale narażonych na ograniczone przepięcia atmosferyczne, np. urządzenia zasilane przez gniazda wtyczkowe.

Kategoria przepięć I – dotyczy urządzeń przyłączonych do obwodów, w których poziom przepięć jest ograniczony do odpowiedniego poziomu, np. obwody elektroniczne chronione za pomocą ograniczników przepięć.



Znormalizowane przebiegi napięcia (1,2/50 μs) i prądu (8/20 μs) generatora udarowego

Narażenia napięciowe

Koordinacja izolacji – wytrzymałość udarowa urządzeń

Napięcie udarowe wytrzymywane (ang. *impulse withstand voltage*) – największa wartość szczytowa napięcia o określonym kształcie i biegunowości, która w ustalonych warunkach nie powoduje przebicia izolacji.

Prawidłowo dobrane ograniczniki przepięć powinny ograniczać wartość napięć udarowych do poziomów wytrzymywanych przez urządzenia i powinny wytrzymywać prądy udarowe występujące w miejscu instalacji. Ograniczniki przepięć nie powinny powodować wyłączeń spowodowanych zadziałaniem zabezpieczeń zwarciovych.



Symbol kategorii
przepięciowej III

Wymagane napięcie udarowe wytrzymywane urządzeń

Napięcie znamionowe sieci zasilającej [V]	Wymagane napięcie udarowe wytrzymywane urządzeń [kV]			
	Kategoria przepięciowa IV	Kategoria przepięciowa III	Kategoria przepięciowa II	Kategoria przepięciowa I
230/400	6	4	2,5	1,5

Narażenia napięciowe

Koordinacja izolacji – odstępy izolacyjne

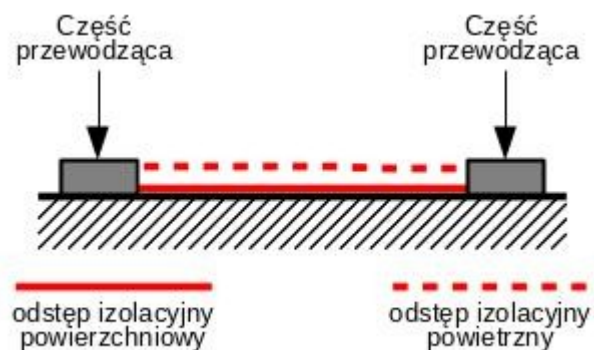
Odstęp izolacyjny powietrzny (ang. *clearance*) – najmniejsza odległość w powietrzu, pomiędzy dwiema częściami przewodzącymi.

Odstępy izolacyjne powietrzne powinny zapewniać wytrzymałość na spodziewane napięcie uderowe.

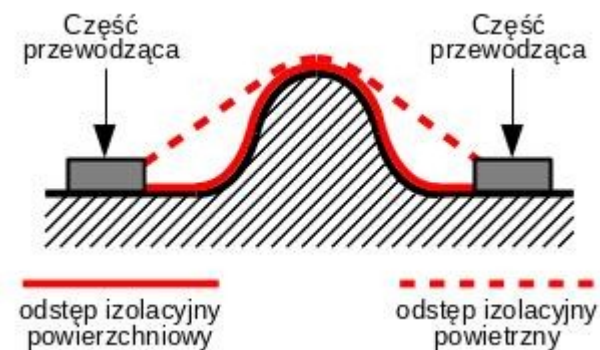
Odstęp izolacyjny powierzchniowy (ang. *creepage distance*) – najmniejsza odległość po powierzchni izolacji stałej, pomiędzy dwiema częściami przewodzącymi.

Odstępy izolacyjne powierzchniowe nie mogą być mniejsze niż skojarzone z nimi odstępy izolacyjne powietrzne. O odstępie izolacyjnym powierzchniowym decyduje napięcie znamionowe izolacji (U_i) urządzenia.

Odstępy izolacyjne powietrzne w instalacjach maszyn powinny być dobrane do pracy w warunkach kategorii przepięciowej III.



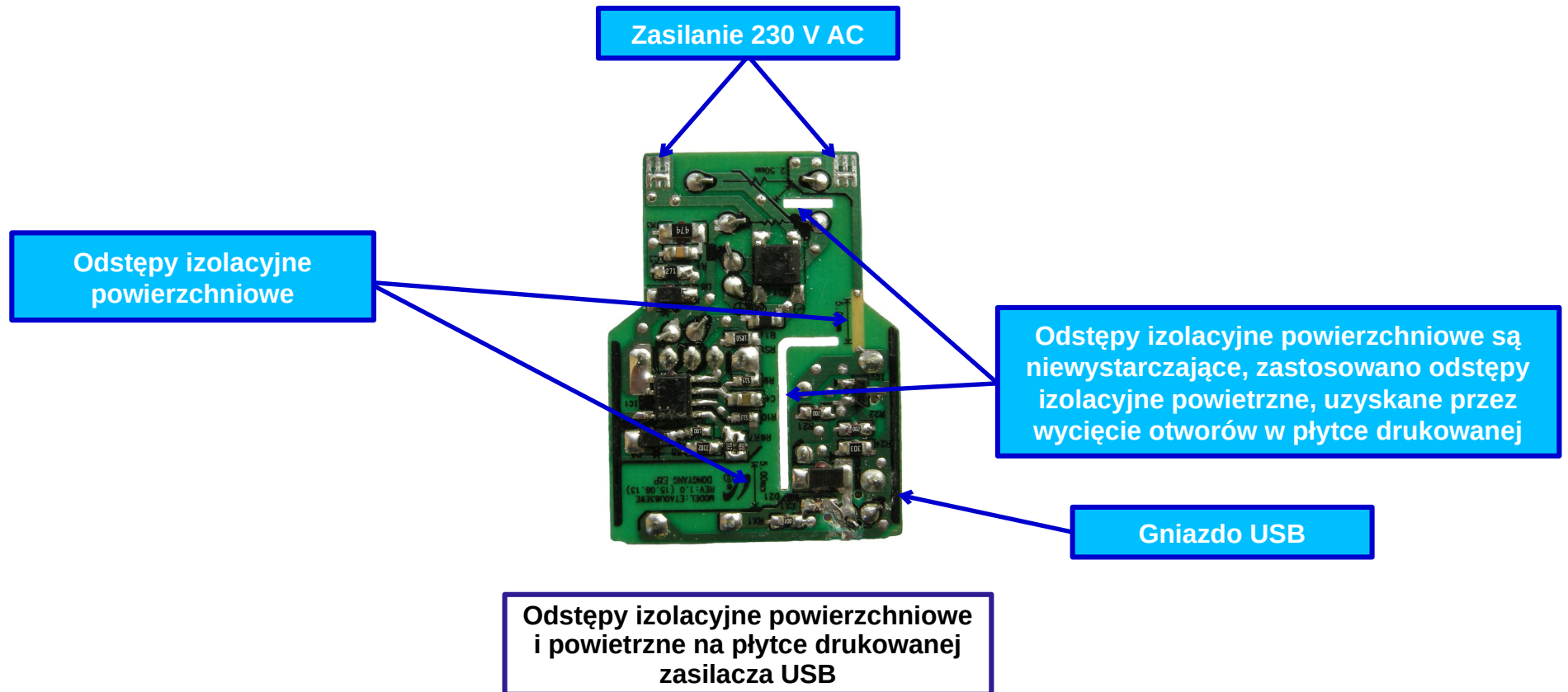
Odstęp izolacyjny powietrzny i powierzchniowy



Odstęp izolacyjny powietrzny i powierzchniowy przy zastosowaniu żebra

Narażenia napięciowe

Koordinacja izolacji – odstępy izolacyjne



Narażenia napięciowe

Koordinacja izolacji – stopień zanieczyszczenia

Stopień zanieczyszczenia (ang. *pollution degree*) to umowna liczba określająca dopuszczalną ilość obcych substancji: stałych, ciekłych lub gazowych, które mogą powodować zmniejszenie wytrzymałości elektrycznej izolacji.

Stopień zanieczyszczenia 1 – brak zanieczyszczeń lub zanieczyszczenia suche nieprzewodzące, które nie mają wpływu na izolację.

Stopień zanieczyszczenia 2 – zanieczyszczenie suche i nieprzewodzące, które sporadycznie pod wpływem kondensacji może zmieniać przewodność.

Stopień zanieczyszczenia 3 – zanieczyszczenie przewodzące lub suche nieprzewodzące, które staje się przewodzące pod wpływem kondensacji.

Stopień zanieczyszczenia 4 – trwała przewodność spowodowana zanieczyszczeniem przewodzącym lub zawilgoceniem.

Jako typowy dla warunków przemysłowych uważa się stopień zanieczyszczenia 3.

CTI – porównawczy wskaźnik odporności na prąd pełzający (ang. *comparative tracking index*).

Wyładowanie pełzające lub erozja może się pojawić gdy:

- zostaje przerwana (wysuszenie) warstewka cieczy przewodzącej powierzchniowy prąd upływowy i napięcie na przerwie jest wystarczające do przebiccia;
- przepływający prąd ma wartość wystarczającą do termicznego uszkodzenia materiału izolacyjnego w miejscu iskrzenia.

Materiały izolacyjne ze względu na wskaźnik CTI dzieli się na grupy: I, II, III i IV.

Ograniczniki przepięć

Koordinacja izolacji – ograniczanie przepięć przejściowych

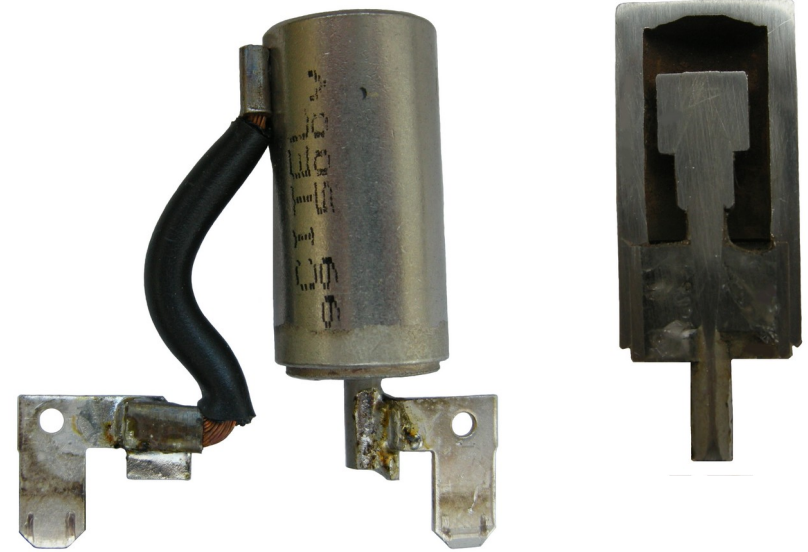
Rozróżnia się dwa rodzaje ograniczania przepięć:

- naturalny – w dużych i złożonych instalacjach rozdzielczych przepięcie może zostać ograniczone w sposób naturalny (parametry instalacji);
- ochronny – ograniczenie przepięć może być osiągnięte za pomocą odpowiednich środków ochronnych (ograniczniki przepięć).

SPD – ogranicznik przepięć (ang. *Surge Protective Device*)



Jeden z trzech bloków warystorowych ogranicznika przepięć typu 3+1 przeznaczonego do sieci o układzie TT (25 kA 8/20 μ s)



Iskiernik ogranicznika przepięć typu 3+1 przeznaczonego do sieci o układzie TT (75 kA 8/20 μ s) i przekrój wzdłużny

Ograniczniki przepięć

Ograniczniki przepięć – klasy próby



Ogranicznik przepięć typu 3/klasa III

Klasa I – ograniczniki klasy I są przeznaczone do ochrony przed oddziaływaniem części prądu piorunowego (przepływem prądu), przepięciami atmosferycznymi oraz przepięciami łączeniowymi. Ograniczniki o klasie próby I są określane jako ograniczniki **typu 1**.

Klasa II – ograniczniki klasy II są przeznaczone do ochrony przed przepięciami łączeniowymi (indukowanymi) i przepięciami łączeniowymi. Ograniczniki mogą przewodzić część prądu udarowego przepuszczonego przez ograniczniki typu 1.

Ograniczniki o klasie próby II są określane jako ograniczniki **typu 2**.

Klasa III – ograniczniki klasy III są przeznaczone do ochrony przed przepięciami łączeniowymi (indukowanymi) i przepięciami łączeniowymi. Ograniczniki mogą przewodzić część prądu udarowego przepuszczonego przez ograniczniki typu 1.

Ograniczniki o klasie próby III są określane jako ograniczniki **typu 3**.

Ograniczniki przepięć

Ograniczniki przepięć – rodzaje stosowanych elementów

Ucinający napięcie – element charakteryzujący się dużą impedancją przy braku napięcia udarowego i gwałtownym zmniejszeniem impedancji pod wpływem impulsu napięcia. Jako elementy ucinające napięcie stosuje się iskierniki, odgromniki gazowo-wydmuchowe, tyrystory i triaki. Najczęściej stosowanym elementem są iskierniki. Czas odpowiedzi iskiernika wynosi około 100 ns.

Ograniczający napięcie – element charakteryzujący się dużą impedancją przy braku napięcia udarowego i stopniowym zmniejszeniem impedancji pod wpływem narastającego napięcia. Jako elementy ograniczające napięcie stosuje się warystory i diody ograniczające. Najczęściej stosowanym elementem są warystory. Czas odpowiedzi warystora wynosi około 25 ns.

Kombinowany – połączenie elementów ucinających i ograniczających napięcie, przeważnie iskiernika i warystora połączonych szeregowo lub równolegle. Działanie ogranicznika jest uzależnione od rodzaju udaru napięcia i prądu.

Aktualnie produkowane iskierniki klasy 1, są iskiernikami trójelektrodowymi, trzecia elektroda jest elektrodą zapłonową sterowaną układem elektronicznym zawierającym warystor (są również dwuelektrodowe). Taka konstrukcja cechuje się niskim napięciowym poziomem związanym z czasem odpowiedzi wynoszącym około 25 ns.

Wadą takiego rozwiązania mogą być częste zadziałania powodujące nadmierne zużycie (wypalenie) iskiernika.



Warystor
1 kA (8/20 μ s)



Iskiernik
trójelektrodowy
10 kA (8/20 μ s)



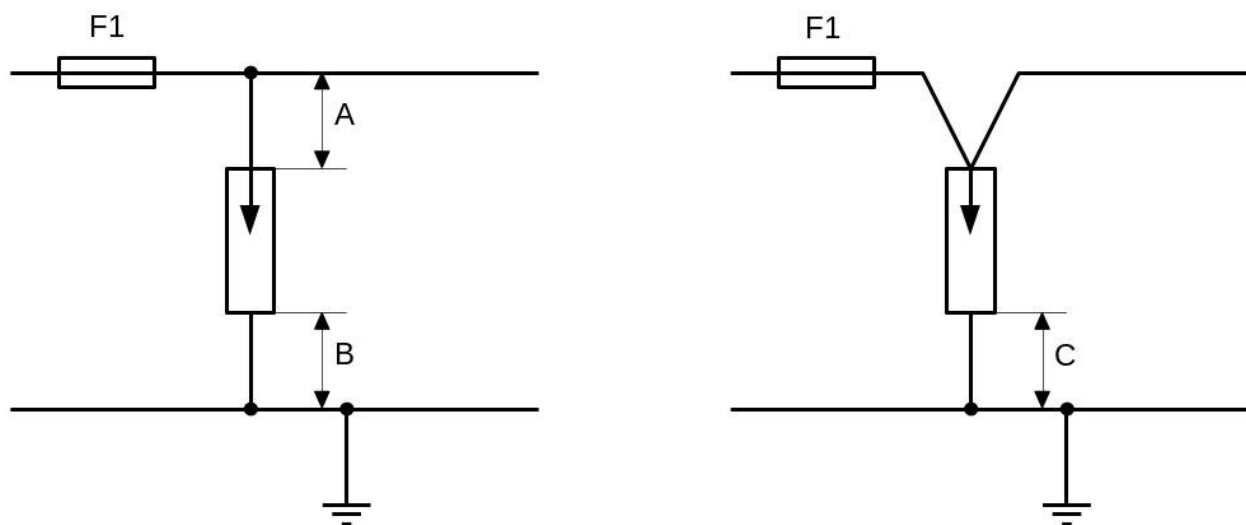
Iskiernik
10 kA (8/20 μ s)

Ograniczniki przepięć

Ograniczniki przepięć – montaż ograniczników

Zgodnie z normą PN-IEC 60364-4-443:1999 ochrona od przepięć atmosferycznych nie jest wymagana w przypadku zasilania budynków z sieci kablowej lub napowietrznej wykonanej przewodami izolowanymi. Taka ochrona nie jest wymagana również w przypadku zasilania z sieci napowietrznych na terenie, na którym roczna liczba dni burzowych nie przekracza 25 (warunki środowiskowe AQ1).

W normie PN-HD 60364-6-443:2016-03 została podana metoda obliczania ryzyka, która decyduje o konieczności stosowania ochrony od przepięć przejściowych.



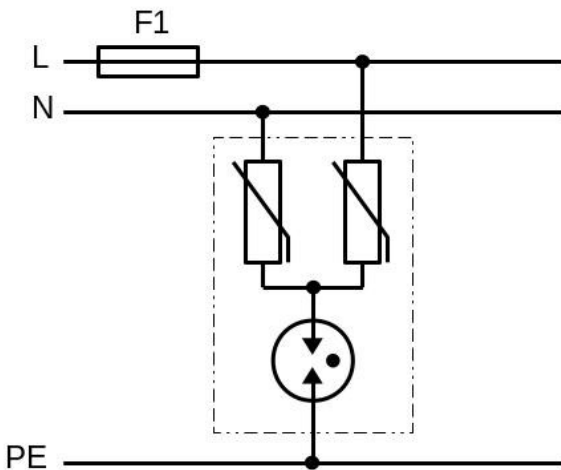
Sposoby montażu ograniczników przepięć – odległości
 $A + B$ lub C nie powinny być dłuższe niż 1 m.

Ograniczniki przepięć

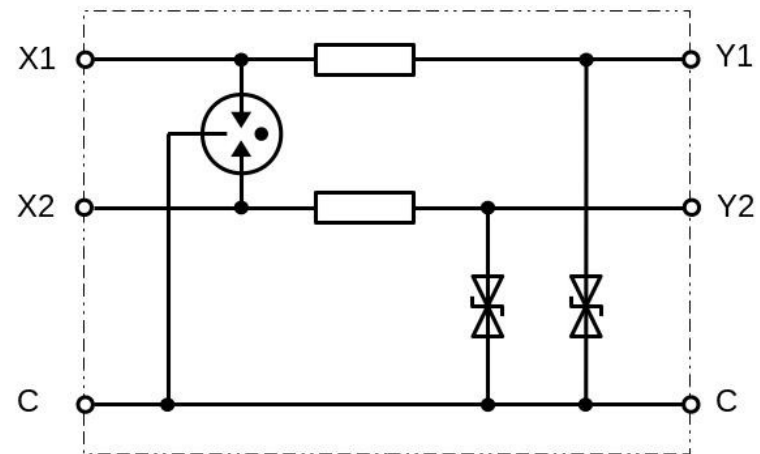
Ograniczniki przepięć – układy połączeń

Jeżeli w maszynach wymaga się ograniczania przepięć spowodowanych wyładowaniami atmosferycznymi to urządzenia SPD (klasy 1) powinny być przyłączone do zacisków wejściowych urządzenia odłączającego od zasilania.

Przykładowo – odporność udarowa elektrycznych przyrządów pomiarowych, automatyki i urządzeń laboratoryjnych wg normy PN-EN 61010-1 wynosi 2 500 V (1,2/50 μ s), zastosowanie takiego urządzenia w warunkach przemysłowych o spodziewanym poziomie przepięć przejściowych 4 kV (1,2/50 μ s) może wymagać zastosowania ograniczników przepięć klasy 2. Urządzenia SPD do ograniczania przepięć spowodowanych czynnościami łączeniowymi powinny być przyłączone do zacisków wyposażenia wymagającego takiej ochrony.



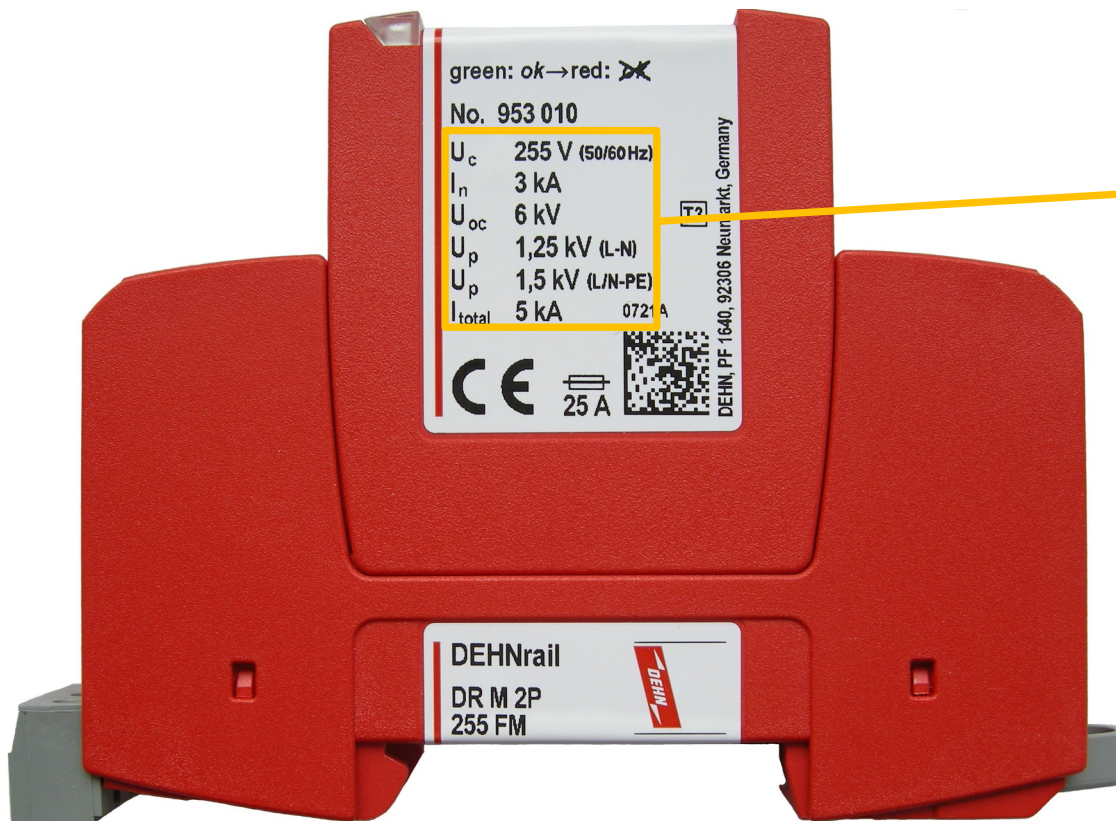
Ogranicznik przepięć typ 3/klasa III



Ogranicznik przepięć przeznaczony do systemów przesyłu sygnału

Ograniczniki przepięć

Ograniczniki przepięć



Największa dopuszczalna wartość napięcia roboczego (U_c)

Napięciowy poziom ochrony (U_p)

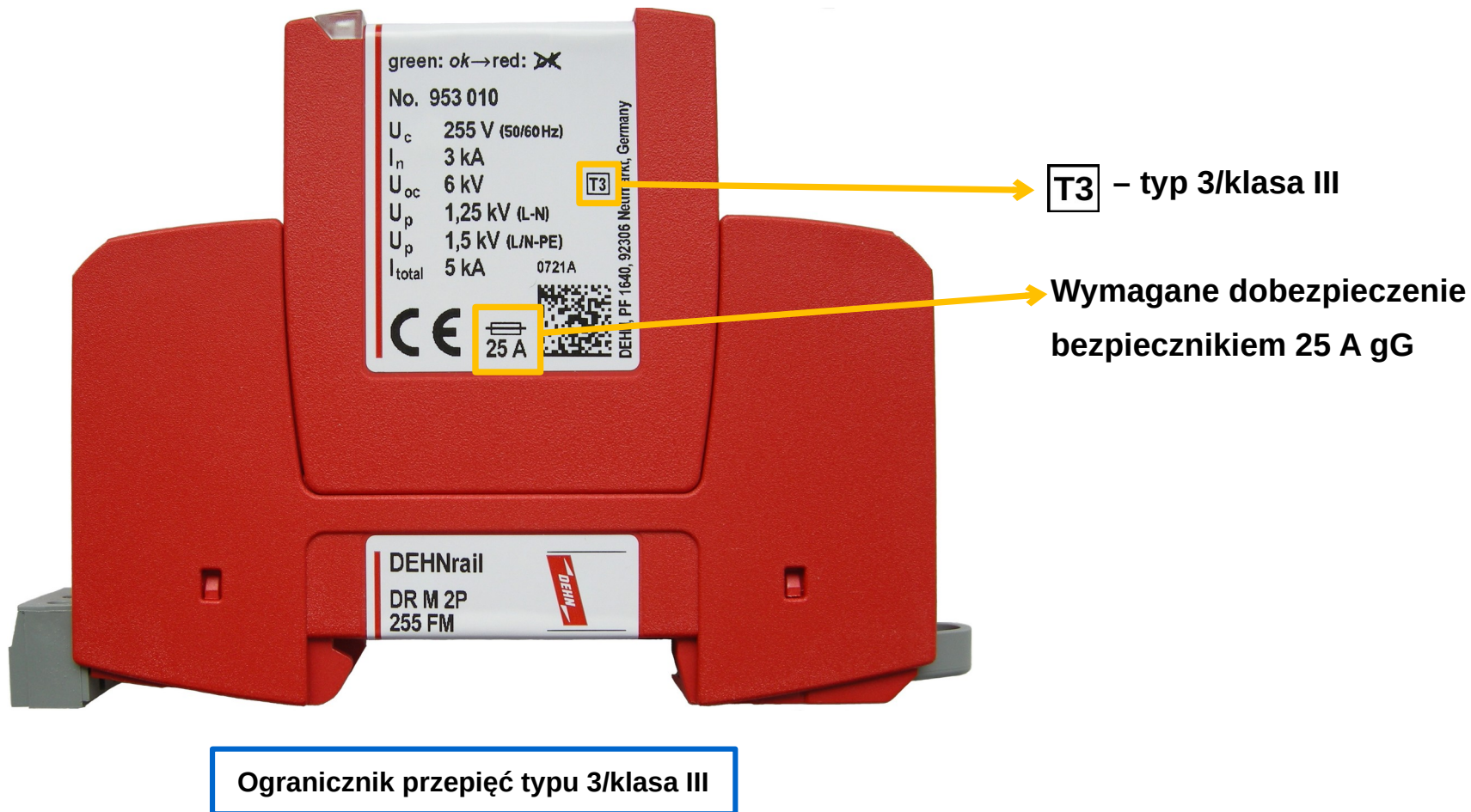
Znamionowy prąd udarowy (I_n)

Wartość szczytowa prądu udarowego (I_{total})

Ogranicznik przepięć typu 3/klasa III

Ograniczniki przepięć

Ograniczniki przepięć



Zabezpieczenia nadprądowe i różnicowoprądowe

Zabezpieczenia zwarciove

SCPD – zabezpieczenie zwarciove (ang. *short-circuit protective device*) – urządzenie przeznaczone do ochrony obwodu przed skutkami prądów zwarciowych przez ich przerwanie.

Wartość szczytowa prądu niezadziałania wyzwalacza zwarciowego nie może być mniejsza niż największa wartość chwilowa prądów związanych ze stanami nieustalonymi, które można przewidzieć (np. rozruch silnika). Aby zapewnić zapas bezpieczeństwa można zastosować współczynnik $k_b \geq 1,25$.

$$0,75 \cdot \sqrt{2} \cdot I_i \geq k_b \cdot i_{max}$$

Prąd nastawczy wyzwalacza bezzwłocznego (I_i) powinien spełniać warunek:

$$I_i \geq \frac{1,25}{0,75 \cdot \sqrt{2}} i_{max}$$

Zabezpieczenia nadprądowe i różnicowoprądowe

Zabezpieczenia przeciążeniowe

Zabezpieczenie przeciążeniowe (ang. *overload protective device*) – urządzenie przeznaczone do ochrony obwodu przed skutkami prądów przeciążeniowych przez ich wyłączenie.

Zabezpieczenia przeciążeniowe nastawia się w zależności od obliczeniowego prądu obciążenia I_B :

$$I_{nr} = 1,0 \div 1,1 I_B$$

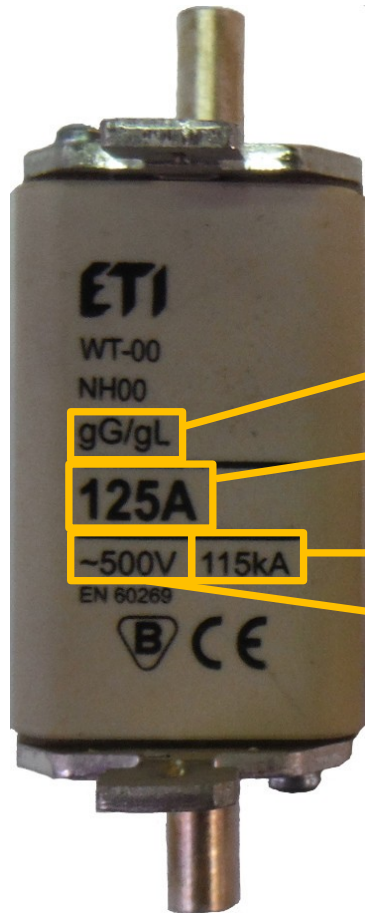
Orientacyjny sposób określania doboru zabezpieczeń nadprądowych

Zabezpieczane urządzenie	Bezpiecznik	Wyłącznik		
	Prąd znamionowy I_n A	Prąd znamionowy I_n A	Prąd nastawczy wyzwalacza przeciążeniowego I_r A	Prąd nastawczy wyzwalacza przeciążeniowego I_r A
Urządzenie rezystancyjne	$\geq 1,0 \div 1,1 I_n$	$\geq 1,0 \div 1,1 I_n$	—	—
Silnik o rozruchu lekkim	$\geq 1,6 \div 2,5 I_n$	$\geq 1,0 \div 1,25 I_n$	$\geq 1,0 \div 1,1 I_n$	$\geq 10 \div 14 I_n$
Silnik o rozruchu ciężkim	$\geq 1,9 \div 3,5 I_n$	$\geq 1,0 \div 1,25 I_n$	$\geq 1,0 \div 1,1 I_n$	$\geq 10 \div 14 I_n$

Zabezpieczenia nadprądowe i różnicowoprądowe

Bezpieczniki

Bezpieczniki cechują się dużą zdolnością wyłączenia prądów zwarciovych i ograniczania ich wartości. Zastosowanie bezpieczników pozwala łatwo osiągnąć selektywność działania. O parametrach i działaniu bezpieczników decydują elementy składowe: topik, gasiwo i korpus.



→ Klasa bezpiecznika

→ Prąd znamionowy ciągły (I_n)

→ Prąd znamionowy wyłączalny (I_c)

→ Napięcie znamionowe bezpiecznika (U_n)

Wkładka topikowa NH00 125 A

Zabezpieczenia nadprądowe i różnicowoprądowe

Zabezpieczenia przeciążeniowe

Zabezpieczenie przeciążeniowe (ang. *overload protective device*) – urządzenie przeznaczone do ochrony obwodu przed skutkami prądów przeciążeniowych przez ich wyłączenie.

Zabezpieczenia przeciążeniowe nastawia się w zależności od obliczeniowego prądu obciążenia I_B :

$$I_{nr} = 1,0 \div 1,1 I_B$$

Orientacyjny sposób określania doboru zabezpieczeń nadprądowych

Zabezpieczane urządzenie	Bezpiecznik	Wyłącznik		
	Prąd znamionowy I_n A	Prąd znamionowy I_n A	Prąd nastawczy wyzwalacza przeciążeniowego I_r A	Prąd nastawczy wyzwalacza przeciążeniowego I_r A
Urządzenie rezystancyjne	$\geq 1,0 \div 1,1 I_n$	$\geq 1,0 \div 1,1 I_n$	—	—
Silnik o rozruchu lekkim	$\geq 1,6 \div 2,5 I_n$	$\geq 1,0 \div 1,25 I_n$	$\geq 1,0 \div 1,1 I_n$	$\geq 10 \div 14 I_n$
Silnik o rozruchu ciężkim	$\geq 1,9 \div 3,5 I_n$	$\geq 1,0 \div 1,25 I_n$	$\geq 1,0 \div 1,1 I_n$	$\geq 10 \div 14 I_n$

Zabezpieczenia nadprądowe i różnicowoprądowe

Bezpieczniki

Bezpieczniki są tanie w produkcji, mają dużą zdolność wyłączenia prądów zwarciovych i umożliwiają łatwe zapewnienie selektywności działania na kolejnych stopniach zabezpieczeń.

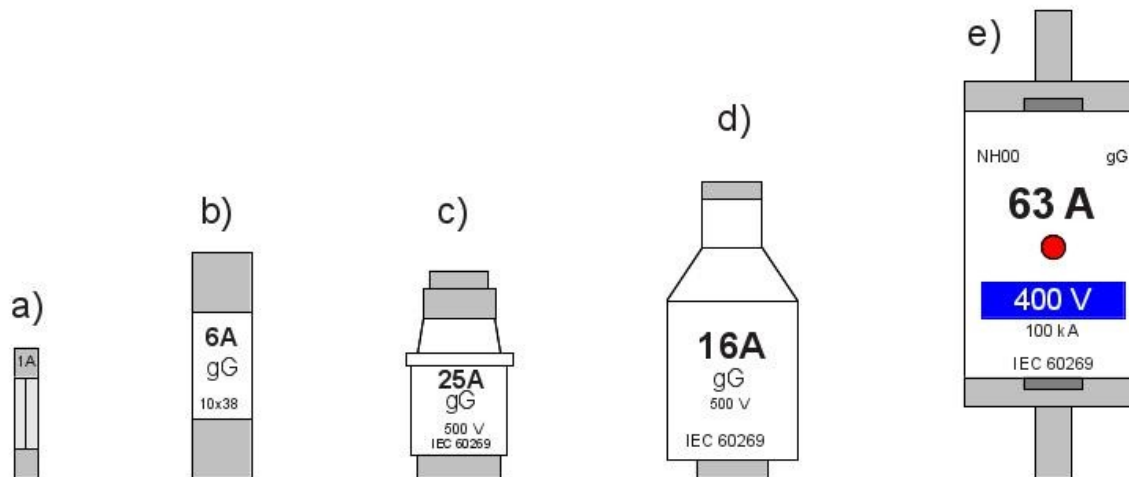
Oznaczenia klasy bezpieczników składają się z dwóch liter, pierwsza oznacza zakres zdolności wyłączenia:

a – bezpiecznik o niepełnozakresowej zdolności wyłączenia

g – bezpiecznik o pełnozakresowej zdolności wyłączenia

Druga litera oznacza przeznaczenie bezpiecznika (kategorię użytkowania)

Bezpieczniki niepełnozakresowe można stosować w obwodach w których znajdują się zabezpieczenia przetężeniowe np. w obwodach silników wyposażonych w stycznik i prz



Wybrane typy wkładek topikowych: a) aparatowa; b) typ C – cylindryczna (10x38); c) typ D (D02); d) typ D (DII); e) typ NH (NH00)

Zabezpieczenia nadprądowe i różnicowoprądowe

Bezpieczniki

Oznaczenie klasy bezpiecznika:

gG – bezpiecznik pełnozakresowy przeznaczony do typowych zastosowań, np. do zabezpieczania przewodów i kabli

aM – bezpiecznik niepełnozakresowy przeznaczony do zabezpieczania zwarciovego silników

gR – bezpiecznik pełnozakresowy przeznaczony do zabezpieczania półprzewodników.

gS – bezpiecznik pełnozakresowy przeznaczony do zabezpieczania półprzewodników.

aR – bezpiecznik niepełnozakresowy przeznaczony do zabezpieczania zwarciovego półprzewodników.

gB – bezpiecznik pełnozakresowy przeznaczony do zastosowań w górnictwie.

gTr – bezpiecznik pełnozakresowy przeznaczony do zabezpieczania transformatorów.

gPV – bezpiecznik pełnozakresowy przeznaczony do zabezpieczania modułów fotowoltaicznych.

Inne spotykane oznaczenia wkładek topikowych nieobjęte normalizacją międzynarodową:

gL – bezpiecznik pełnozakresowy przeznaczony do zabezpieczania przewodów i kabli

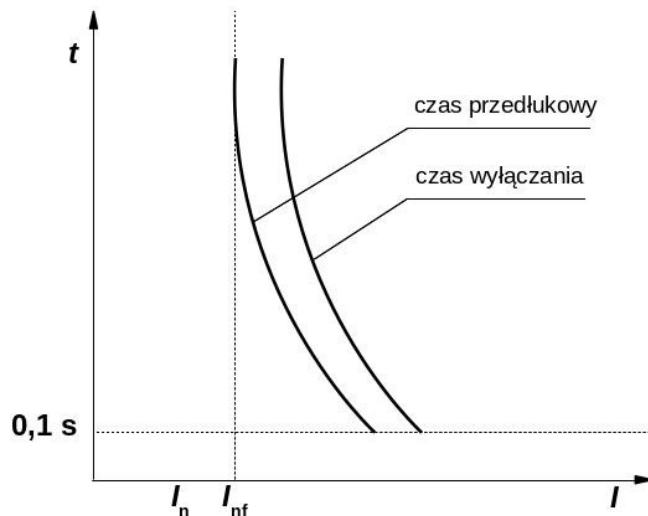
gF – bezpiecznik pełnozakresowy o działaniu szybkim przeznaczony do zabezpieczania półprzewodników.

Zabezpieczenia nadprądowe i różnicowoprądowe

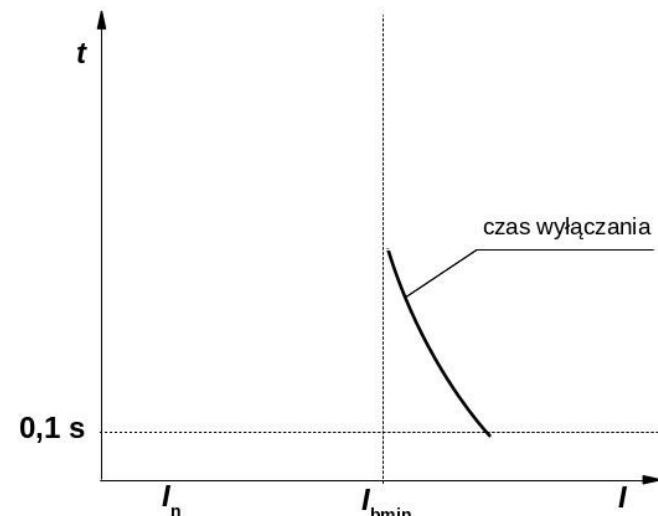
Bezpieczniki

Charakterystyka czasowo-prądowa $I-t$ przedstawiająca czas t w funkcji prądu I , jest charakterystyką pasmową składającą się z dwóch krzywych: najmniejszych czasów przedłukowych t_p i największych czasów wyłączenia t_w . Charakterystyka czasowo-prądowa może być również charakterystyką liniową, na której znajduje się wyłącznie krzywa największych czasów wyłączenia t_w .

Dla wkładek topikowych o niepełzakresowej zdolności wyłączenia podaje się najmniejszy prąd wyłączalny I_{bmin} , który jest około czterokrotnie większy niż prąd znamionowy (I_n). Przy prądach mniejszych od prądu I_{bmin} działanie wkładki topikowej jest niepewne, a to oznacza znaczne ograniczenie w wyłączaniu prądów przeciążeniowych.



Charakterystyka czasowo-prądowa $I-t$ bezpieczników pełnozakresowych



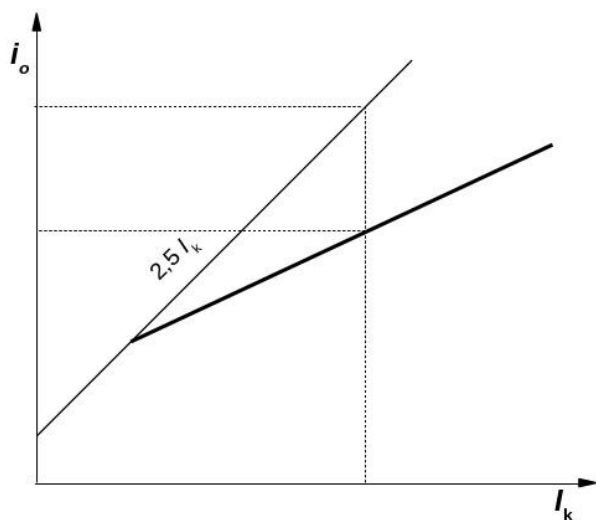
Charakterystyka czasowo-prądowa $I-t$ bezpieczników niepełnozakresowych

Zabezpieczenia nadprądowe i różnicowoprądowe

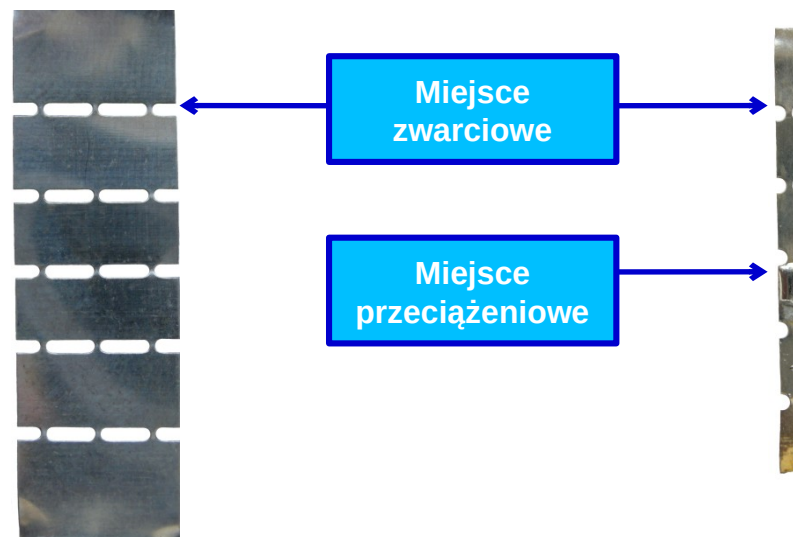
Bezpieczniki

Charakterystyka prądów ograniczonych i_o-I określa zdolność bezpiecznika do ograniczania elektrodynamicznych skutków zwarc.

Charakterystyka prądów ograniczonych to stosunek prądu ograniczonego do spodziewanego prądu zwarcowego (wartość skuteczna składowej okresowej prądu spodziewanego). Przy prądach zwarcowych o niewielkich wartościach efekt ograniczający nie występuje i bezpiecznik przepuszcza wartość szczytową prądu zwarcowego (i_p). Efekt ograniczający występuje przy odpowiednio dużym spodziewanym prądzie zwarcowym i zwiększa się wraz ze wzrostem tego prądu.



Charakterystyka czasowo-prądowa $I-t$ bezpieczników pełnozakresowych



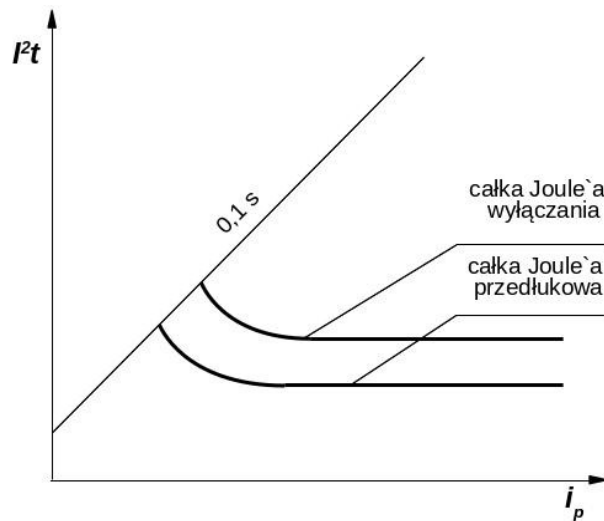
Jeden z dwóch topików bezpiecznika aM 160 A (po lewej) i topik bezpiecznika gG 20 A

Zabezpieczenia nadprądowe i różnicowoprądowe

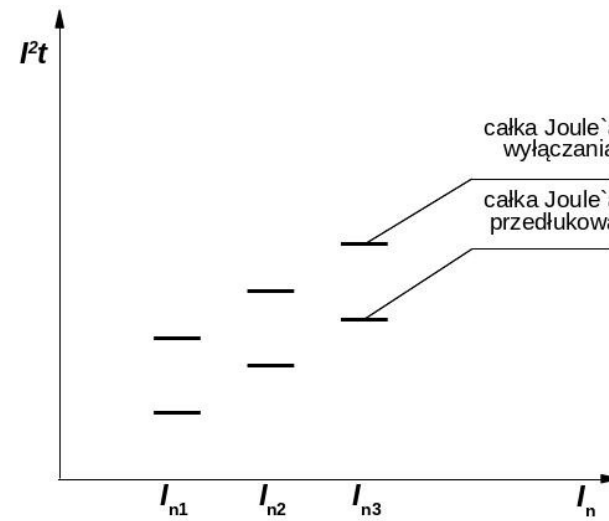
Bezpieczniki

Charakterystyka całki Joule'a I^2t powinna być stosowana dla dużych prądów zwarciovych i odpowiadających im czasów wyłączenia poniżej 0,1 s, dla których charakterystyki czasowo-prądowe nie są miarodajne.

Całka Joule'a jest miarą ilości ciepła wytworzoną na wszystkich elementach obwodu elektrycznego przez przepływający prąd na rezystancji 1Ω ($I^2t \cdot R \cdot t$). Charakterystyka całki Joule'a jest charakterystyką pasmową składającą się z krzywej całki Joule'a przedłukowej (I^2t_p) i krzywej całki Joule'a wyłączenia (I^2t_w). Całka Joule'a wyłączenia (I^2t_w) rośnie wraz ze wzrostem napięcia, jak również ze spadkiem współczynnika mocy $\cos \varphi$.



Charakterystyka całek Joule'a wkładki topikowej.

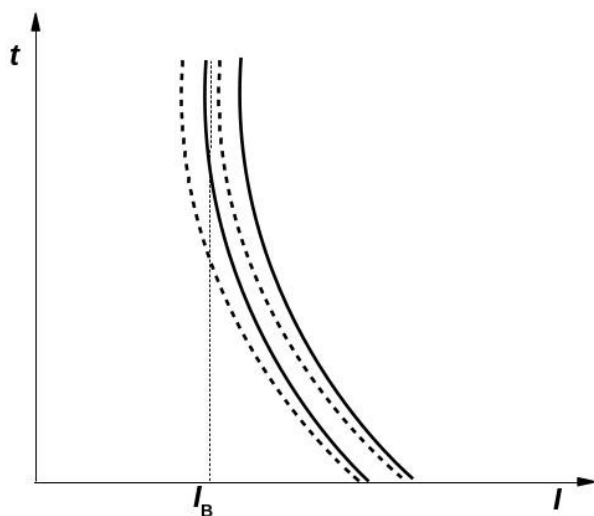


Wartości całek Joule'a podane dla wkładek topikowych o różnych wartościach prądu znamionowego I_n

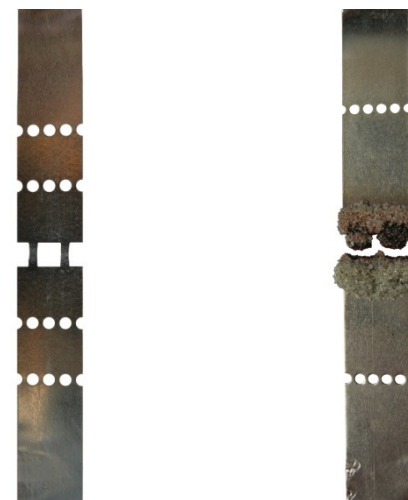
Zabezpieczenia nadprądowe i różnicowoprądowe

Bezpieczniki

Prądy znamionowe bezpieczników powinny mieć wartość jak najmniejszą w stosunku do prądów roboczych, ale powinny zapewniać przewodzenie długotrwałych prądów szczytowych obciążenia i przetrzymanie krótkotrwałych prądów impulsowych. Prąd znamionowy bezpiecznika przewodzącego długotrwały prąd roboczy powinien spełniać zależność $I_n \geq 1,25 \times I_B$. Prądy obciążenia nie powinny przekraczać wartości wyznaczonych krzywą czasów przedłukowych. Przekraczanie tych wartości powoduje degradację topika i procesy starzeniowe, w efekcie których rzeczywiste charakterystyki czasowo-prądowe wkładek topikowych ulegają przesunięciu w lewo, w kierunku mniejszych prądów. Może to spowodować zbędne zadziałanie bezpiecznika przewodzącego prąd roboczy.



Prąd obciążenia o zbyt dużej wartości może powodować degradację topika zmieniającą parametry bezpiecznika (przesunięcie charakterystyki)



Topik bezpiecznika aM 50 A (po lewej) przegrzany przez prąd o nadmiernej wartości. Topik bezpiecznika gG 80 A (po prawej) przepalony w miejscu przecięniowym

Zabezpieczenia nadprądowe i różnicowoprądowe

Wyłączniki

Wyłącznik – łącznik mechanizmowy zdolny do załączania przewodzenia i wyłączania prądów roboczych oraz do załączania, przewodzenia przez określony czas i wyłączania prądów zwarciovych.

Dane znamionowe wyłączników:

U_e – napięcie znamionowe łączeniowe

U_{imp} – napięcie znamionowe udarowe wytrzymywane

U_i – napięcie znamionowe izolacji

I_n – prąd znamionowy

I_e – prąd znamionowy łączeniowy

I_{th} – prąd cieplny umowny aparatu elektrycznego w obudowie

I_{the} – prąd cieplny umowny aparatu elektrycznego bez obudowy

I_{cw} – prąd znamionowy krótkotrwały wytrzymywany

I_{cn} – prąd znamionowy wyłączalny zwarciovych

I_{cs} – prąd znamionowy wyłączalny zwarciovych eksploatacyjny

I_{cm} – prąd znamionowy załączalny zwarciovych

I_{cu} – prąd znamionowy wyłączalny zwarciovych graniczny

I_i – prąd znamionowy zwarciovych bezzwłoczny nastawiony

Zabezpieczenia nadprądowe i różnicowoprądowe

Wyłączniki

MCB – wyłącznik nadprądowy instalacyjny (ang. *Miniature Circuit-Breakers*)

Wyłączniki o prądach znamionowych $I_n = 0,5 - 100$ A, wyposażone w nienastawialne wyzwalacze przeciążeniowe i zwarciove.

MCCB – wyłącznik nadprądowy sieciowe (ang. *Moulded case Circuit-Breaker*)

Wyłączniki o prądach znamionowych $I_n = 63 - 630$ A, wyposażone w nienastawialne lub nastawialne wyzwalacze nadprądowe, napięciowe i różnicowoprądowe.

ACB – wyłącznik nadprądowy stacyjny (ang. *Air Circuit Breaker*)

Wyłączniki o prądach znamionowych $I_n = 400 - 6300$ A, wyposażone w nastawialne wyzwalacze nadprądowe, napięciowe i różnicowoprądowe.

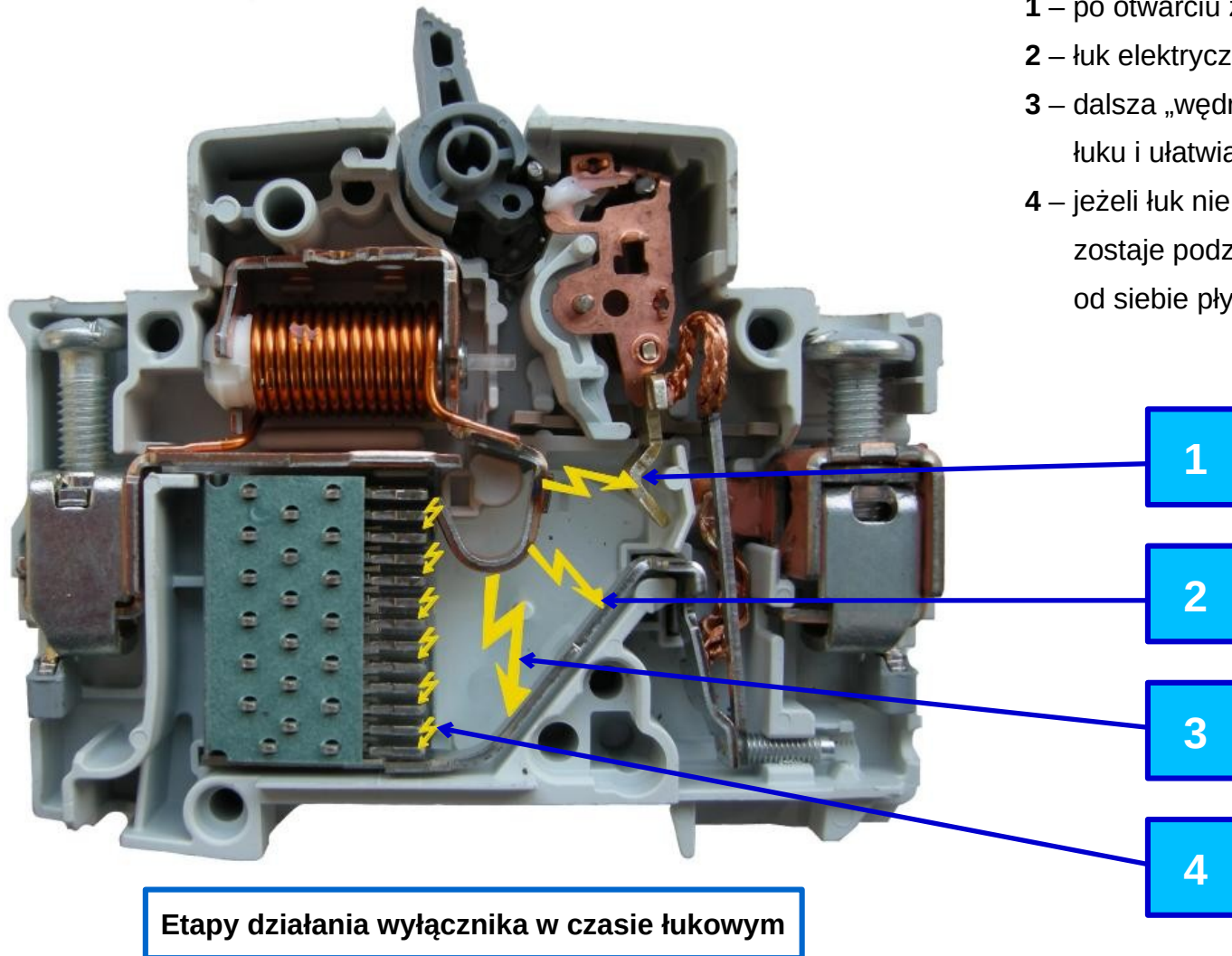
CBR – wyłącznik z wbudowanym zabezpieczeniem różnicowoprądowym (ang. *Circuit-breaker providing residual current protection*)

ICB – wyłącznik nadprądowy bezzwłoczny (ang. *Instantaneous trip Circuit-Breakers*).

Wyłącznik wyposażony w wyzwalacz zwarciovy, który może być nastawialny i nie wyposażony w wyzwalacz przeciążeniowy. Wyłącznik może współpracować z przekaźnikami cieplnymi (przeciążeniowymi) lub z rozrusznikami silnikowymi.

Zabezpieczenia nadprądowe i różnicowoprądowe

Wyłącznik instalacyjny prądu przemiennego



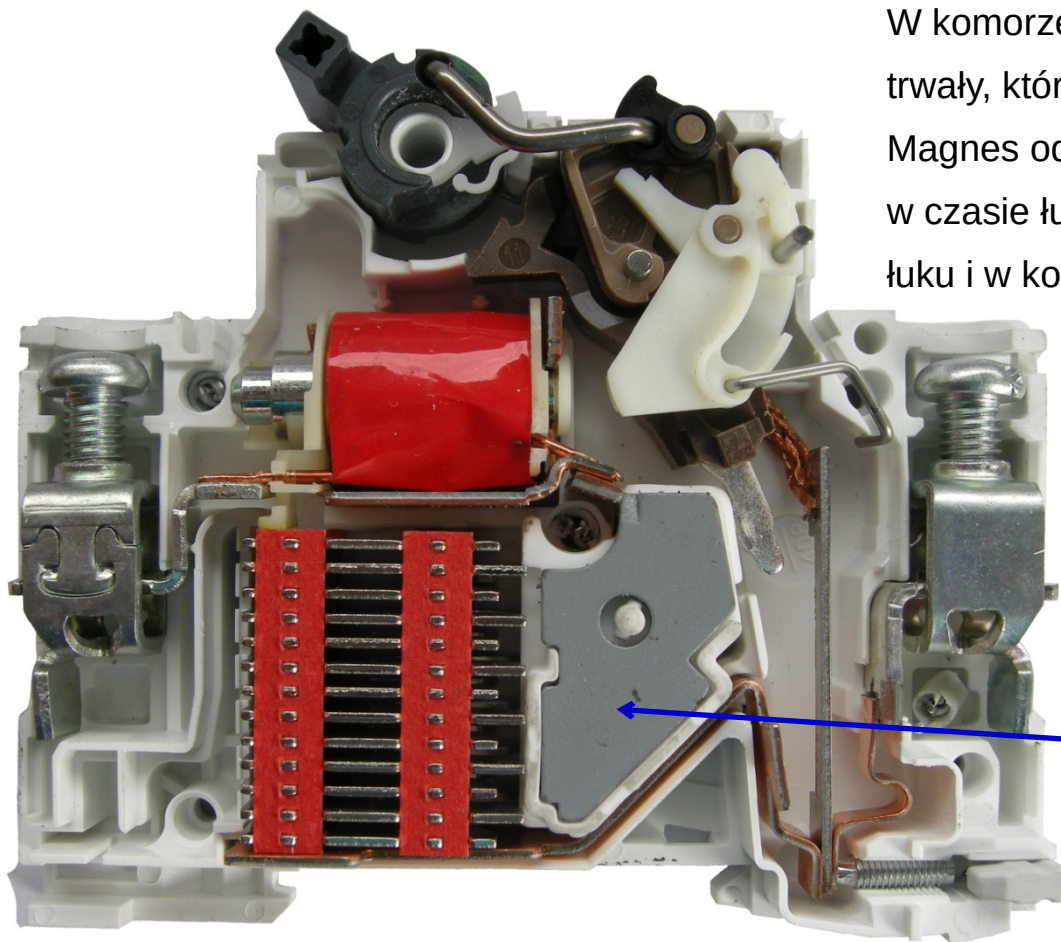
Zabezpieczenia nadprądowe i różnicowoprądowe

Wyłączniki instalacyjne prądu stałego

W komorze gaszeniowej łącznika umieszczony jest magnes trwały, który wspomaga gaszenie łuku elektrycznego.

Magnes oddziałuje na prąd stały przepływający przez łącznik w czasie łukowym, powodując przyciągnięcie lub odpychanie łuku i w konsekwencji wspomaga gaszenie łuku.

Kierunek przepływu prądu decyduje o przyciągnięciu lub odpychaniu łuku i dlatego kierunek prądu w wyłącznikach prądu stałego jest wskazany przez producenta.

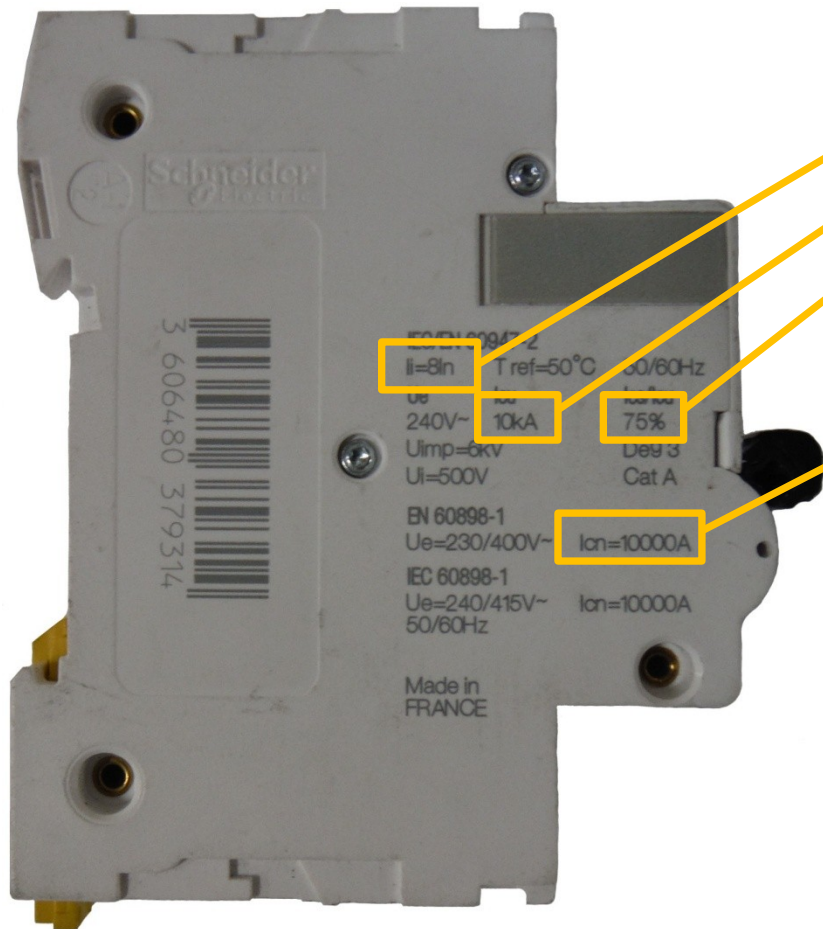


Magnes trwały w komorze gaszeniowej

Magnes trwały w komorze gaszeniowej wyłącznika prądu stałego

Zabezpieczenia nadprądowe i różnicowoprądowe

Wyłączniki instalacyjne



- Znamionowy bezzwłoczny prąd zwarciaowy nastawiony (I_i)
- Prąd znamionowy wyłączalny zwarciaowy graniczny (I_{cu})
- Prąd znamionowy wyłączalny zwarciaowy eksploatacyjny (I_{cs})

→ Prąd znamionowy wyłączalny zwarciaowy (I_{cn})

Wyłącznik B80

Zabezpieczenia nadprądowe i różnicowoprądowe

Wyłączniki instalacyjne



Napięcie znamionowe łączeniowe (U_e)

Napięcie znamionowe udarowe wytrzymawane (U_{imp})

Napięcie znamionowe izolacji (U_i)

Wyłącznik B80

Zabezpieczenia nadprądowe i różnicowoprądowe

Wyłączniki instalacyjne



Stopień zanieczyszczenia – 3
Kategoria użytkowania – A

Wyłącznik B80

Zabezpieczenia nadprądowe i różnicowoprądowe

Wyłączniki instalacyjne



Rodzaj charakterystyki – C (C2)

Prąd znamionowy – 2 (C2)

Prąd znamionowy wyłączalny zwarcia (I_{cn}) – 6000

Klasa ograniczania (prądu zwarcia) – 3

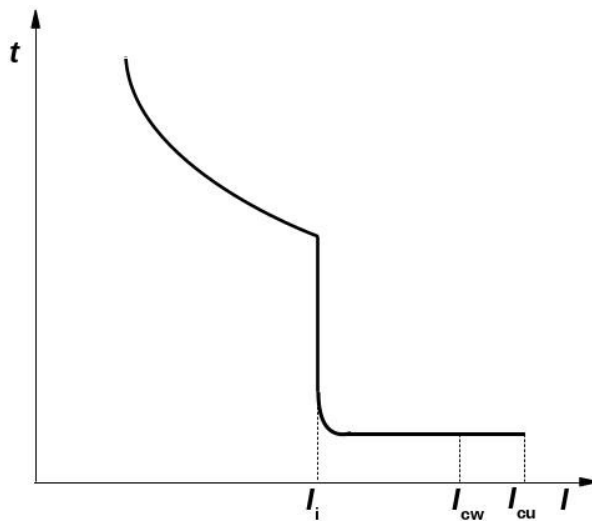
Wyłącznik C2

Zabezpieczenia nadprądowe i różnicowoprądowe

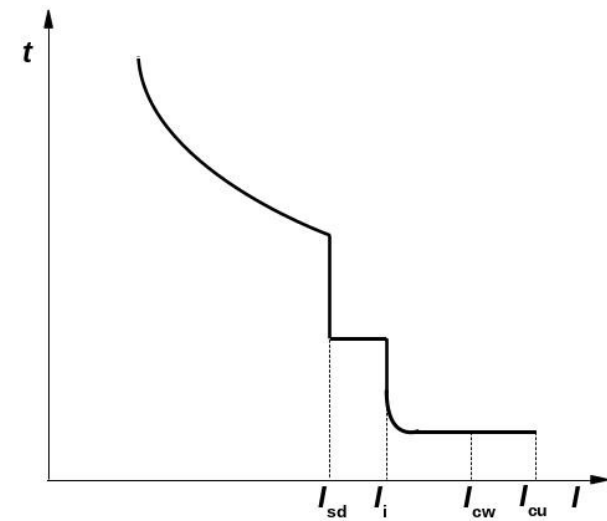
Wyłączniki

Charakterystyka czasowo-prądowa $t-I$ przedstawiająca czas t w funkcji prądu I , jest charakterystyką liniową największych czasów wyłączenia.

Całka Joule'a jest miarą ilości ciepła wytworzoną na wszystkich elementach obwodu elektrycznego przez przepływający prąd na rezystancji 1Ω ($I^2 t \cdot R \cdot t$).



Charakterystyka czasowo-prądowa $t-I$ wyłączników z wyzwalnikiem bezzwłocznym

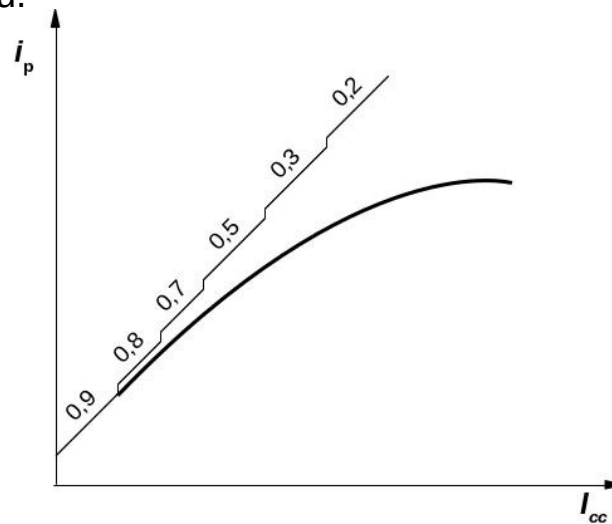


Charakterystyka czasowo-prądowa $t-I$ wyłączników z wyzwalnikiem krótkozwłocznym

Zabezpieczenia nadprądowe i różnicowoprądowe

Wyłączniki

Charakterystyka prądów ograniczonych i_o-I określa zdolność bezpiecznika do ograniczania elektrodynamicznych skutków zwarcia. Charakterystyka prądów ograniczonych to stosunek prądu ograniczonego do spodziewanego prądu zwarcia (wartość skuteczna składowej okresowej prądu spodziewanego). Przy prądach zwarcia o niewielkich wartościach efekt ograniczający nie występuje i wyłącznik przepuszcza wartość szczytową prądu zwarcia (i_p). Efekt ograniczający występuje przy odpowiednio dużym spodziewanym prądzie zwarcia i zwiększa się wraz ze wzrostem tego prądu.



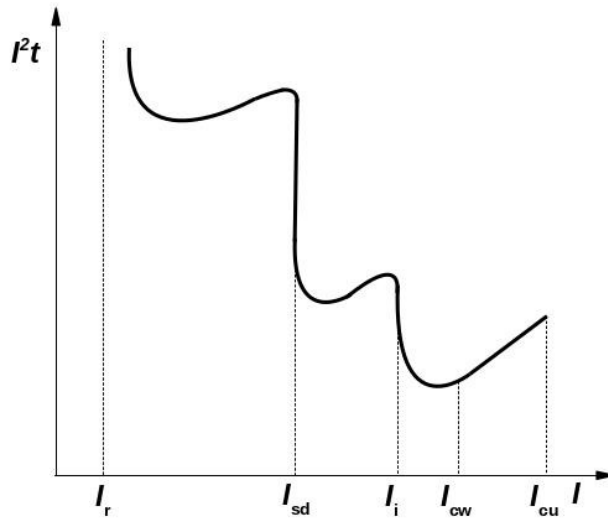
Charakterystyka prądów ograniczonych i_o-I wyłącznika

Zabezpieczenia nadprądowe i różnicowoprądowe

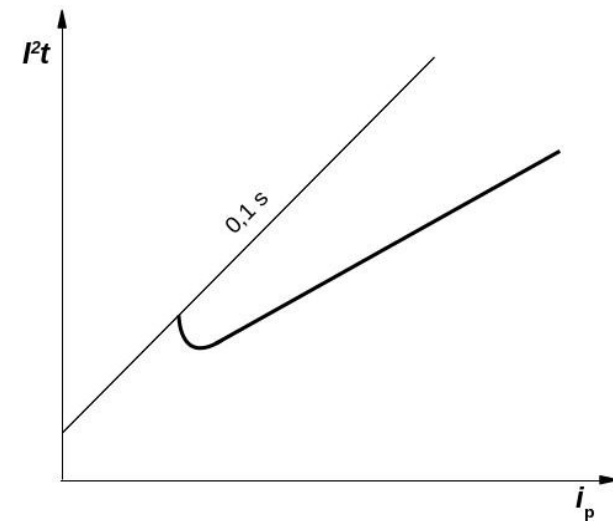
Wyłączniki

Charakterystyka całki Joule'a I^2t powinna być stosowana dla dużych prądów zwarciovych i odpowiadających im czasów wyłączenia poniżej 0,1 s, dla których charakterystyki czasowo-prądowe nie są miarodajne.

Całka Joule'a jest miarą ilości ciepła wytworzoną na wszystkich elementach obwodu elektrycznego przez przepływający prąd na rezystancji 1Ω ($I^2t \cdot R \cdot t$).



Charakterystyka całki Joule'a wyłącznika



Charakterystyka całki Joule'a wyłącznika dla czasów poniżej 0,1 s

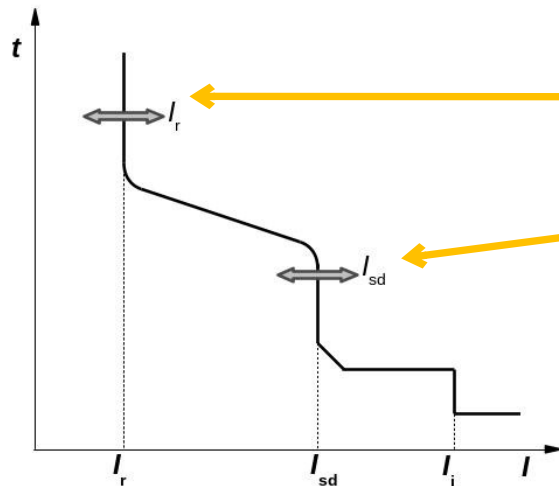
Zabezpieczenia nadprądowe i różnicowoprądowe

Nastawy wyzwalacza nadprądowego wyłącznika sieciowego

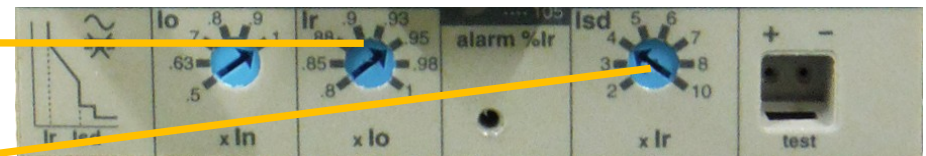
Nastawy wyzwalacza nadprądowego umożliwiają zabezpieczenie urządzeń znajdujących się po stronie obciążenia przed skutkami przetężeń.

Wyłącznik o prądzie znamionowym $I_n = 160$ A zabezpiecza obwód o prądzie obliczeniowym obciążenia $I_B = 125$ A.

Wyzwalacz przeciążeniowy powinien być nastawiony na prąd $1,0 \div 1,1 I_B$. Nastawa wyzwalacza przeciążeniowego $I_r = I_B / I_n = 125 / 160 = 0,8$. Jeżeli wyłącznik zabezpiecza przewody przed przeciążeniem dodatkowo powinna być spełniona zależność $I_B \leq I_r \leq I_z$. Nastawa wyzwalacza zwarciovego (I_i) powinna być jak najmniejsza aby zapewnić odpowiednią czułość zabezpieczenia, ale wystarczająco duża aby nie powodować zbędnych zadziałań.



Charakterystyka t-I wyłącznika kategorii użytkowania A



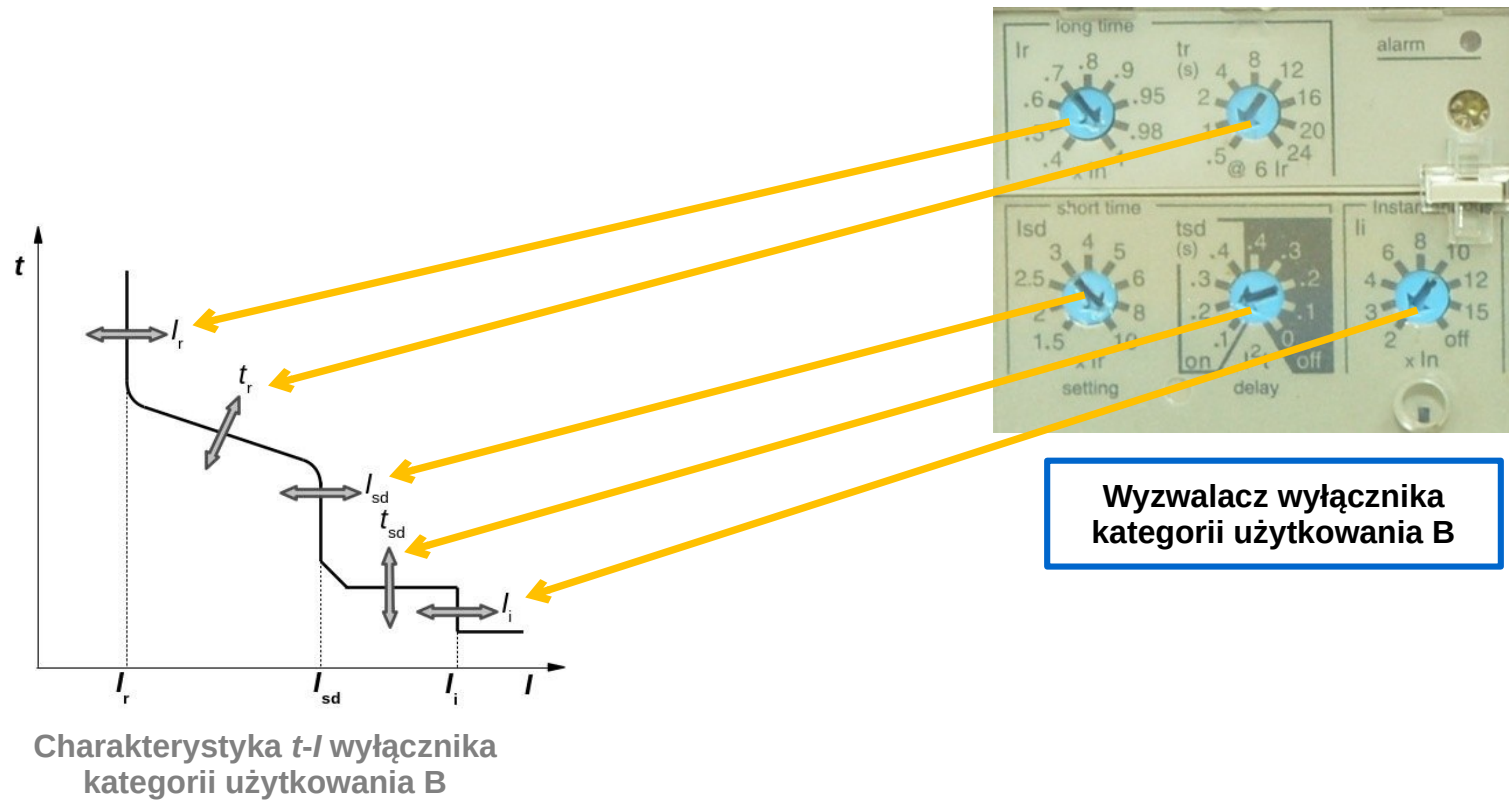
Wyzwalacz wyłącznika kategorii użytkowania A

Zabezpieczenia nadprądowe i różnicowoprądowe

Nastawy wyzwalacza nadprądowego wyłącznika stacyjnego

Nastawy wyzwalacza nadprądowego wyłącznika kategorii użytkowania B umożliwiają uzyskanie selektywności w stosunku do wyłączników kategorii użytkowania A znajdujących się po stronie obciążenia.

Nastawy wyzwalaczy muszą uwzględniać wytrzymałość zwarciovą zabezpieczanych urządzeń np. przewodów i skuteczność ochrony przeciwporażeniowej przez samoczynne wyłączenie zasilania.



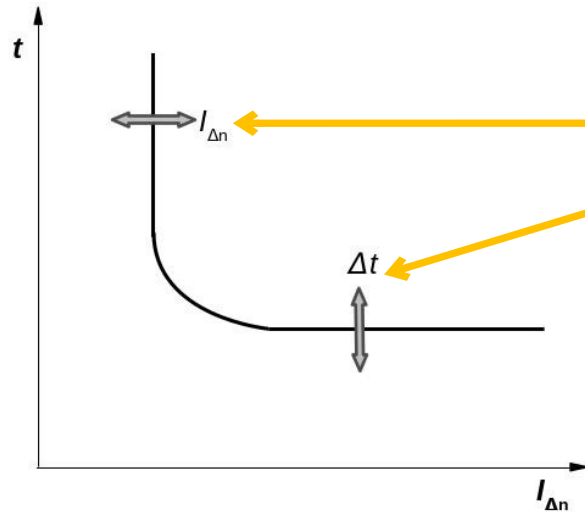
Zabezpieczenia nadprądowe i różnicowoprądowe

Nastawy wyzwalacza różnicowoprądowego wyłącznika CBR

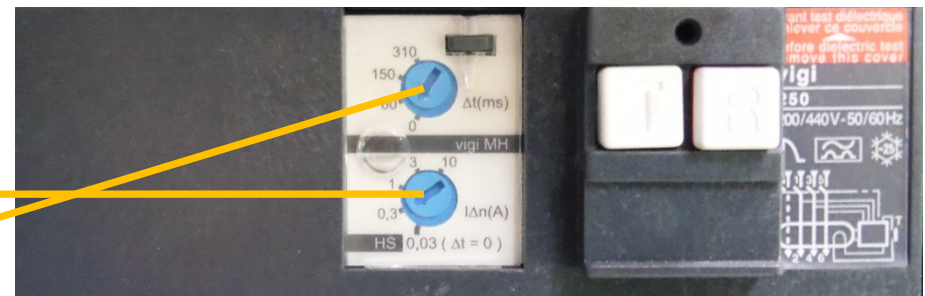
Nastawy wyzwalacza różnicowoprądowego umożliwiają uzyskanie selektywności w stosunku do urządzeń różnicowoprądowych znajdujących się po stronie obciążenia.

W przypadku użycia wyzwalacza do ochrony przeciwporażeniowej uzupełniającej znamionowy prąd różnicowy ($I_{\Delta n}$) nie może być większy niż 30 mA.

W przypadku zastosowania wyzwalacza do ochrony przed pożarem spowodowanym prądami doziemnymi znamionowy prąd różnicowy ($I_{\Delta n}$) nie może być większy niż 500 mA.



Charakterystyka $t-I_{\Delta}$ członu różnicowoprądowego wyłącznika CBR



Wyzwalacz członu różnicowoprądowego wyłącznika CBR

Zabezpieczenia nadprądowe i różnicowoprądowe

Wyłączniki silnikowe

Wyzwalacze przeciążeniowe (termobimetalowe) powinny mieć nastawę spełniającą zależność:

$$I_{nr} = 1,0 \div 1,1 I_{nM}$$

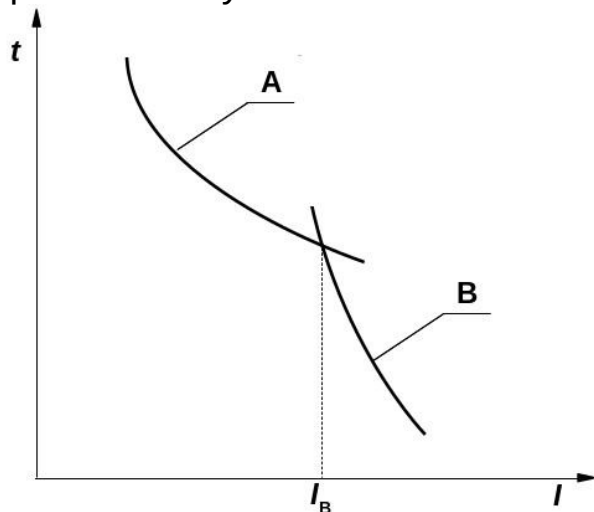
gdzie:

I_{nr} – nastawa prądu wyzwalacza przeciążeniowego

I_{nM} – prąd znamionowy silnika

Wyzwalacze zwarciovne (elektromagnetyczne) wyłączników silnikowych powinny mieć prąd zadziałania większy od największego prądu roboczego, w celu uniknięcia zbędnych zadziałań. Przeważnie wyłączniki silnikowe nie mają regulacji wyzwalacza elektromagnetycznego, a jego prąd jest krotnością nastawy wyzwalacza przeciążeniowego.

Jeżeli wyłączniki silnikowe nie są stosowane inny często stosowanym zabezpieczeniem jest wyzwalacz termobimetalowy i bezpiecznik klasy aM.



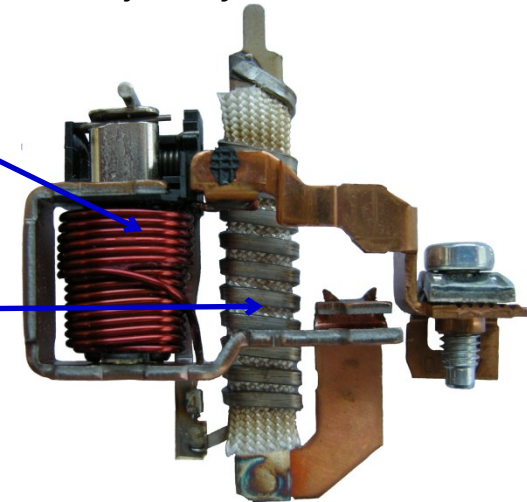
Charakterystyki czasowo-prądowe:

A – przekaźnika termobimetalowego; B – bezpiecznika klasy aM

Wyzwalacz elektromagnetyczny (zwarciovny)

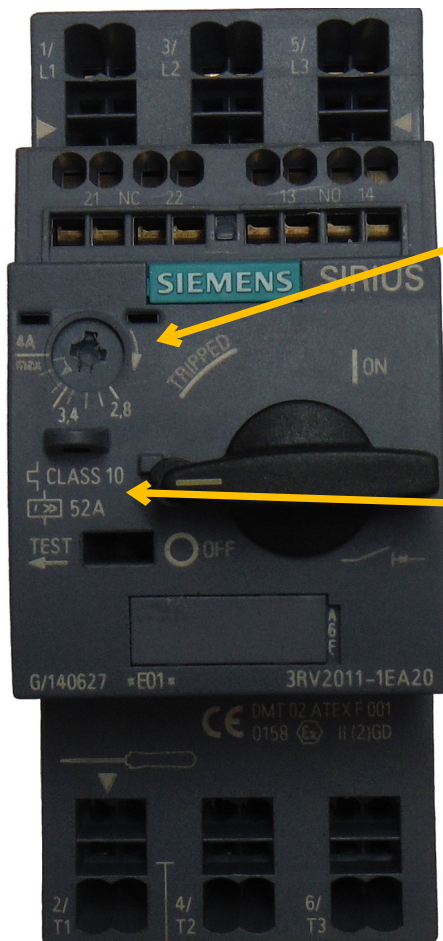
Wyzwalacz termobimetalowy (przeciążeniowy)

Wyzwalacze wyłącznika silnikowego



Zabezpieczenia nadprądowe i różnicowoprądowe

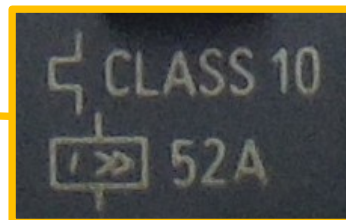
Wyłączniki silnikowe



Wyłącznik silnikowy



2,8 ÷ 4 A – zakres nastawczy prądu
wyzwalacza termobimetalowego
(przeciążeniowego)



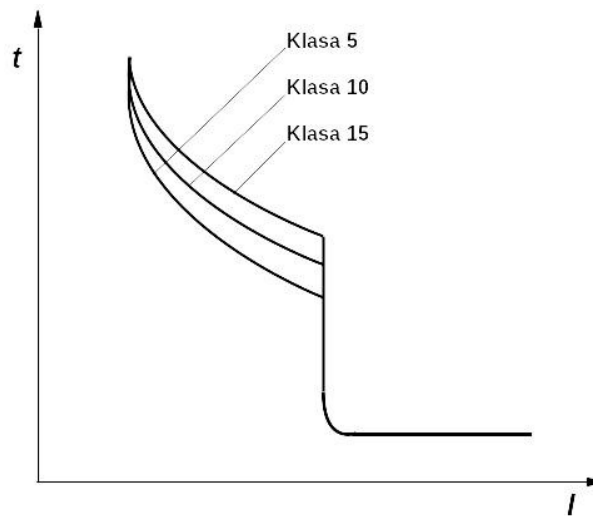
CLASS 10 – klasa wyzwiania
wyzwalacza termobimetalowego

52 A – prąd zadziałania wyzwalacza
elektromagnetycznego
(zwarcioviego $I_i = 13 \times I_n$)

Zabezpieczenia nadprądowe i różnicowoprądowe

Wyłączniki silnikowe

Klasa wyzwalań (ang. *tripping class*) – przekaźników termobimetalowych i wyłączników silnikowych, powinna być dobierana w zależności od czasu rozruchu. W **przekaźnikach termobimetalowych pierwotnych**, w których prąd silnika przepływa bezpośrednio przez bimetale stosuje się klasę wyzwalań 5 lub 10. W **przekaźnikach termobimetalowych wtórnych**, w których termobimetale są włączone w obwód wtórny przekładnika prądowego stosuje się klasy wyzwalań wyższe niż 10. Przekaźniki termobimetalowe powinny być dobezpieczone.



Charakterystyka czasowo-prądowa, krzywa dotycząca wyłączacza termobimetalowego została podana dla 3 klas wyzwalań: 5, 10 i 15

Wyłączniki różnicowoprądowe

Wyłączniki różnicowoprądowe nie mogą być stosowane w instalacjach, w których niezawodność zasilania ma pierwszorzędne znaczenie.

Wyłączniki różnicowoprądowe powinny rozłączać wszystkie przewody czynne instalacji elektrycznej. Za wyłącznikami różnicowoprądowymi nie wolno łączyć ze sobą przewodów neutralnych różnych obwodów i przewodów neutralnych z ochronnymi. Połączenia takie mogą spowodować zbędne zadziałania wyłącznika lub brak zadziałania przy przepływie prądu różnicowego.

Przy doborze wyłączników różnicowoprądowych należy uwzględnić rodzaj ochrony, którą wyłącznik ma realizować, ustalić typ urządzenia (RCCB, RCBO) oraz jego parametry takie jak: napięcie znamionowe, częstotliwość znamionowa, znamionowy prąd ciągły, znamionowy prąd różnicowy zadziałania oraz ilość biegunów. Należy ustalić rodzaj charakterystyki członu nadprądowego wyłącznika RCBO, jaka powinna być zastosowana: B, C lub D, koordynację z innymi zabezpieczeniami oraz obciążalność zwarciovą wyłącznika.

Zabezpieczenia nadprądowe i różnicowoprądowe

Rodzaje urządzeń różnicowoprądowych

RCCB – wyłącznik bez wbudowanego zabezpieczenia nadprądowego (ang. *residual current operated circuit-breakers without integral overcurrent protection*)

RCBO – wyłącznik z wbudowanym zabezpieczeniem nadprądowym (ang. *residual current operated circuit-breakers with integral overcurrent protection*)

PRCD – przenośny wyłącznik różnicowoprądowy (ang. *portable residual current protective device*)

RCM – monitor różnicowoprądowy (ang. *residual current operated monitors*) – urządzenia przeznaczone do monitorowania i sygnalizowania przekroczenia ustawionej wartości prądu różnicowego.

MRCD – modułowe urządzenie różnicowoprądowe (ang. *modular residual current device*)

Zabezpieczenia nadprądowe i różnicowoprądowe

Rodzaje urządzeń różnicowoprądowych



25A – prąd znamionowy ciągły (I_n)

0,03A – prąd znamionowy różnicowy ($I_{\Delta n}$)

400V~ – napięcie znamionowe (U_n)

$I_{nc} = I_{\Delta c} = 10kA$ – prąd znamionowy zwarciovymowny (I_{nc})

i prąd znamionowy różnicowy zwarciovymowny ($I_{\Delta c}$)

I_m 630A – znamionowy prąd załączalny i wyłączalny (I_m)



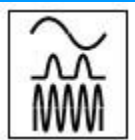
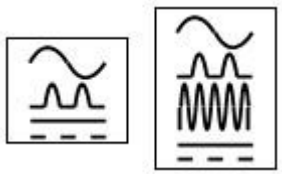
SCPD FUS 80A – obciążalność zwarciova przy dozpieczeniu bezpiecznikiem gG 80 A

Wyłącznik różnicowoprądowy

Zabezpieczenia nadprądowe i różnicowoprądowe

Rodzaje urządzeń różnicowoprądowych




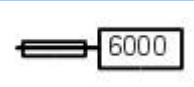
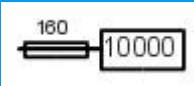
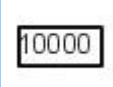
Symbole, oznaczenia i przeznaczenie wyłączników różnicowoprądowych

Symbol	Oznaczenie	Działanie i przeznaczenie
	AC	Wyzwalacz wyłącznika działa przy prądzie różnicowym przemiennym
	A	Wyzwalacz wyłącznika działa przy prądzie różnicowym przemiennym oraz przy prądzie jednokierunkowym pulsującym o składowej stałej nieprzekraczającej 6 mA
	F	Wyzwalacz wyłącznika działa przy prądzie różnicowym przemiennym, przy prądzie jednokierunkowym pulsującym o składowej stałej nieprzekraczającej 10 mA oraz przy prądzie zawierającym harmoniczne
	B	Wyzwalacz wyłącznika działa przy prądzie różnicowym przemiennym, przy prądzie jednokierunkowym pulsującym oraz przy prądzie stałym o pomijalnym tętnieniu. Nowa generacja wyłączników działa dodatkowo przy prądzie przemiennym sinusoidalnym o częstotliwości do 1000 Hz oraz przy prądzie zawierającym harmoniczne (symbol po prawej stronie)

Zabezpieczenia nadprądowe i różnicowoprądowe

Rodzaje urządzeń różnicowoprądowych

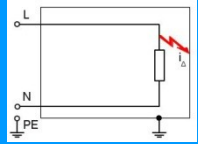
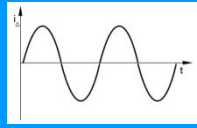
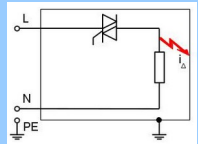
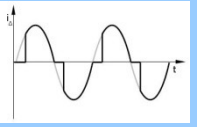
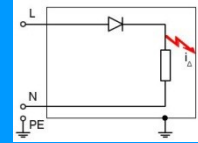
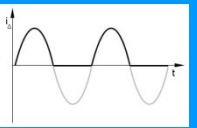
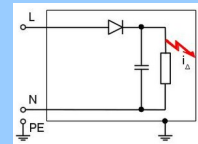
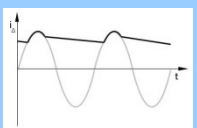
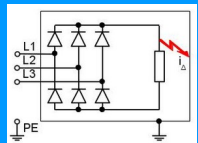
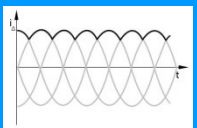
Zwłoczność działania i obciążalność zwarciova wyłączników różnicowoprądowych

Symbol	Oznaczenie	Działanie i przeznaczenie
	KV, KVP, HI, VSK	Wyłącznik krótkozwłoczny, odporny na udarowy prąd różnicowy 3 kA o przebiegu 8/20 μ s, o najmniejszym czasie przetrzymania 10 ms.
		Wyłącznik zwłoczny (selektywny), odporny na udarowy prąd różnicowy 5 kA o przebiegu 8/20 μ s, o najmniejszym czasie przetrzymania 50 ms.
		Wyłącznik bezzwłoczny odporny na prąd różnicowy 500 A o przebiegu 8/20 μ s.
		Wyłącznik o obciążalności zwarciovej 6 kA, przy dobezpieczeniu bezpiecznikiem $I_n \leq 63$ A klasy gG.
		Wyłącznik o obciążalności zwarciovej 10 kA, przy dobezpieczeniu bezpiecznikiem $I_n \leq 160$ A klasy gG.
		Wyłącznik o obciążalności zwarciovej 10 kA.

Zabezpieczenia nadprądowe i różnicowoprądowe

Rodzaje urządzeń różnicowoprądowych

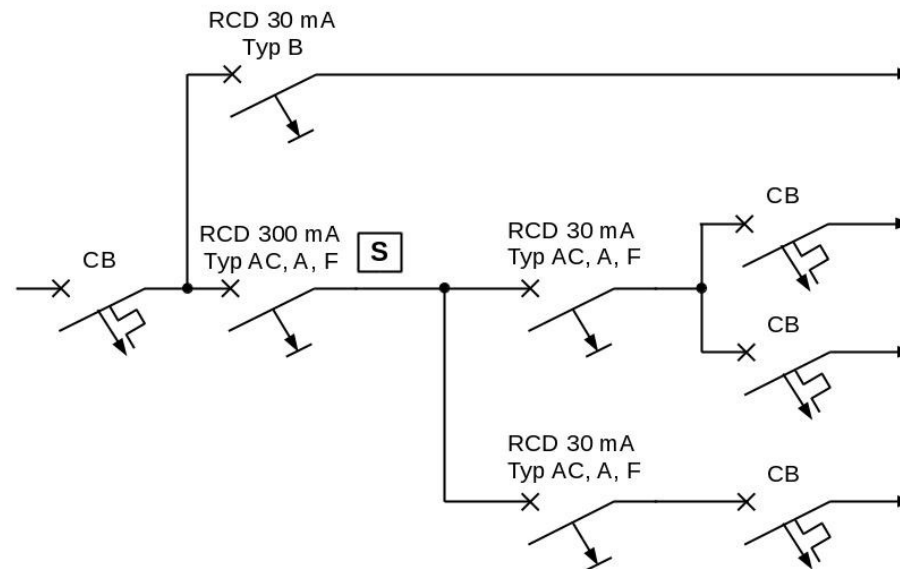
Zwłoczność działania i obciążalność zwarciova wyłączników różnicowoprądowych

Typ RCD	Schemat	Przebieg prądu zwarcioego	Działanie i przeznaczenie
AC, A, F, B			Brak urządzenia elektroenergetycznego
AC, A, F, B			Triak – sterowanie fazowe symetryczne
A, F, B			Dioda prostownicza – prostownik jednopulsowy
B			Dioda prostownicza – prostownik jednopulsowy z filtrem napięcia
B			Dioda prostownicza – prostownik sześciopulsowy

Zabezpieczenia nadprądowe i różnicowoprądowe

Wyłączniki różnicowoprądowe

W układzie zasilającym pokazanym na rysunku obwód zabezpieczony wyłącznikiem różnicowoprądowym typu B jest przeznaczony do zasilania urządzeń powodujących przepływ prądu różnicowego stałego o małym tętnieniu. Pozostałe obwody są przeznaczone do zasilania urządzeń powodujących przepływ prądu różnicowego przemiennego, wyprostowanego pulsującego lub prądu zawierającego harmonicznie w zależności od zastosowanego urządzenia różnicowoprądowego. Urządzenie różnicowoprądowe oznaczone symbolem **S** ma zapewniać selektywne działanie urządzeń różnicowoprądowych.



Koordinacja wyłączników różnicowoprądowych w obwodach, w których może pojawić się prąd o pomijalnym tętnieniu i jest wymagana selektywność zabezpieczeń

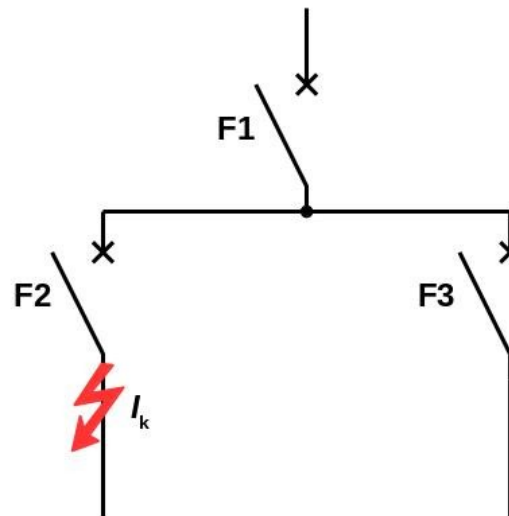
Koordynacja zabezpieczeń

Selektywność zabezpieczeń nadprądowych

Jeżeli warunki pracy wymagają ciągłości zasilania, zabezpieczenia zwarciovne rozdzielnic maszyn powinny być dobrane w sposób zapewniający selektywność (wybiórczość) zabezpieczeń.

Selektywność polega na zadziałaniu w przypadku zwarcia wyłącznie urządzenia nadprądowego najbliższego od miejsca zwarcia, w kierunku źródła zasilania.

Sprawdzenie selektywności odbywa się przez analizę (porównanie) charakterystyk obu urządzeń nadprądowych, w niektórych przypadkach spełnienie zasad selektywności może potwierdzić producent poprzez badania.



Selektywność zabezpieczeń F1 i F2 jest zachowana jeżeli w przypadku zwarcia zadziała wyłącznik F2 i nie zadziała wyłącznik F1.

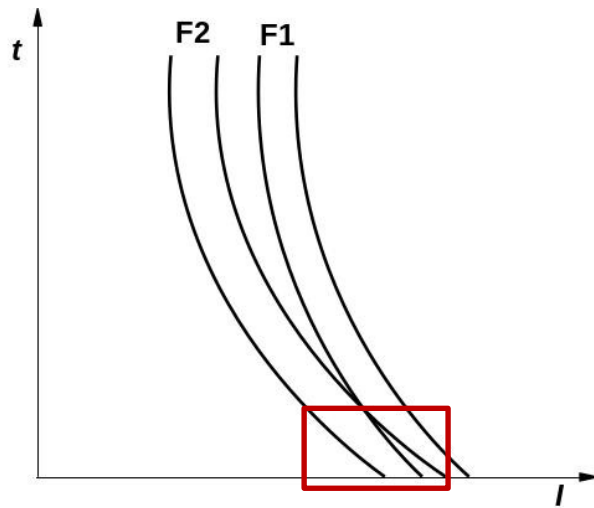
Koordinacja zabezpieczeń

Selektywność zabezpieczeń nadprądowych

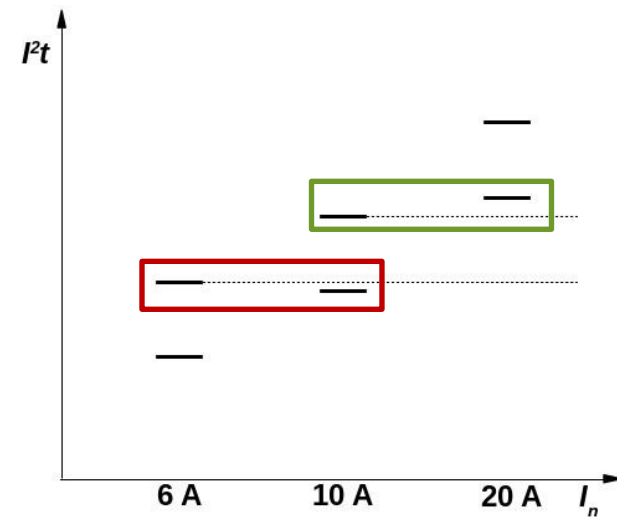
W układzie bezpiecznik – bezpiecznik należy porównać charakterystyki czasowo-prądowe, które nie powinny mieć "obszarów wspólnych".

Selektywność bezpieczników jest zachowana przy stosunku prądów znamionowych 2:1.

Dla prądów zwarciovych o czasach poniżej 10 ms należy porównać charakterystyki całek Joule'a, lub wartości całek Joule'a. Powinna być spełniona zależność: $I^2t (F1) > I^2t (F2)$.



Selektywność częściowa między dwoma bezpiecznikami. W miejscu zaznaczonym barwą czerwoną – brak selektywności.

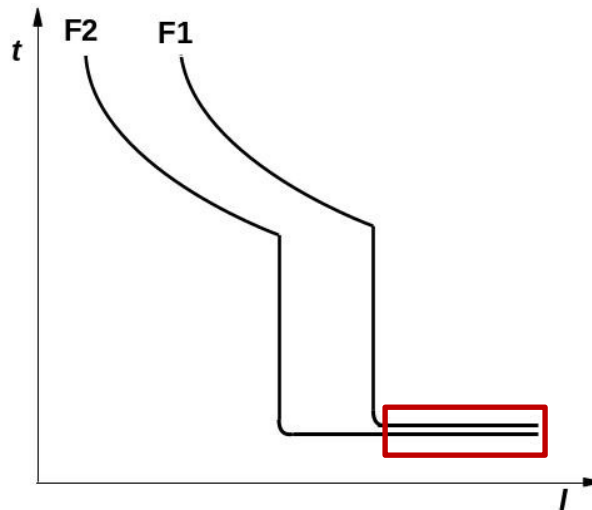


Brak selektywności między bezpiecznikami 6 A i 10 A. Selektwność całkowita między bezpiecznikami 10 A i 20 A.

Koordynacja zabezpieczeń

Selektywność zabezpieczeń nadprądowych

W układzie wyłącznik – wyłącznik należy porównać charakterystyki czasowo-prądowe, które nie powinny mieć "obszarów wspólnych". Stosunek prądów znamionowych 2:1 na kolejnych stopniach zabezpieczeń nie zawsze gwarantuje selektywne działanie wyłączników. W obszarze zaznaczonym barwą czerwoną na wykresie charakterystyk wyłączników spełnienie zasady selektywności może być potwierdzone przez producenta na podstawie prób.



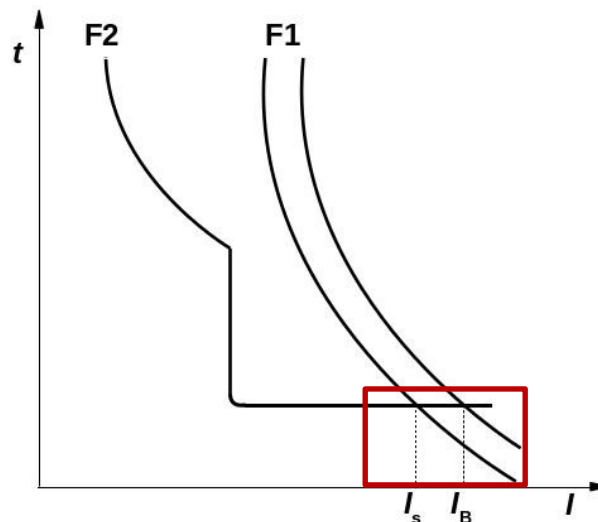
Selektywność między dwoma wyłącznikami.
W miejscu zaznaczonym barwą czerwoną selektywność
można ustalić wyłącznie na podstawie prób.

Koordinacja zabezpieczeń

Selektywność zabezpieczeń nadprądowych

W układzie wyłącznik – bezpiecznik należy porównać charakterystyki czasowo-prądowe, które nie powinny mieć "obszarów wspólnych". W przypadku prądów zwarciovych o dużych wartościach bezpieczniki wykazują szybsze działanie od wyłączników i wyłączają prąd zwarciovym, prąd I_s jest prądem granicznym selektywności.

Sytuacja przedstawiona na wykresie obrazuje również zasady dobezpieczania urządzeń nadprądowych. Jeżeli prąd zwarciovym w miejscu instalacji wyłącznika F1 jest większy niż jego zdolność wyłączenia, prąd zwarciovym jest wyłączane przez bezpiecznik F2. Jeżeli prąd przełomowy I_B jest nie mniejszy niż zdolność zwarciova wyłącznika F1, bezpiecznik F2 dobezpiecza wyłącznik F1.



Selektywność częściowa, w miejscu zaznaczonym barwą czerwoną urządzenia nie działają selektywnie

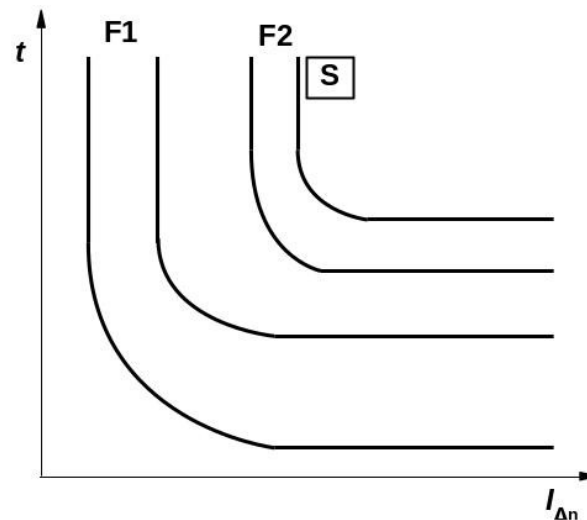
Koordinacja zabezpieczeń

Selektywność zabezpieczeń różnicowoprądowych

W układzie wyłącznik różnicowoprądowy – wyłącznik różnicowoprądowy selektywność jest zapewniona jeżeli na poprzedzającym stopniu zabezpieczeń znajduje się wyłącznik selektywny, a na kolejnych stopniach zabezpieczeń znajdują się wyłączniki bezzwłoczne lub krótkozwłoczne.

Zwłoka czasowa wyłącznika różnicowoprądowego selektywnego powinna zapewniać przetrzymanie prądu różnicowego z marginesem bezpieczeństwa.

Zwłoka czasowa i selektywne działanie mogą zapewnić również urządzenia o nastawialnych wyzwalaczach takie jak wyłączniki CBR lub urządzeń MRCD.



Charakterystyki wyłączników różnicowoprądowych:

F1 – krótkozwłoczny $I_{\Delta n} = 30 \text{ mA}$,

F2 – selektywny $I_{\Delta n} = 300 \text{ mA}$.

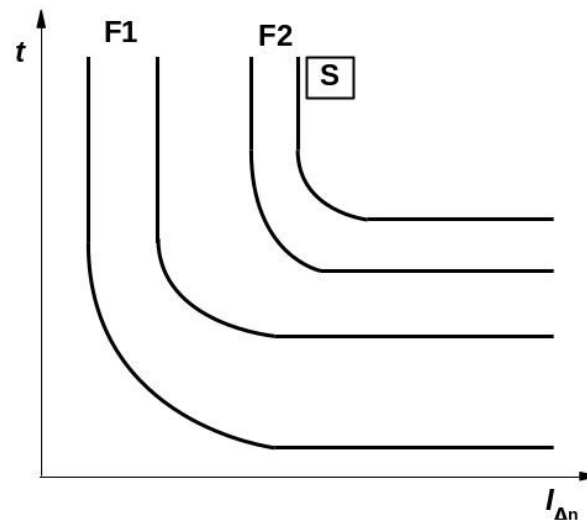
Koordynacja zabezpieczeń

Selektywność zabezpieczeń różnicowoprądowych

W układzie wyłącznik różnicowoprądowy – wyłącznik różnicowoprądowy selektywność jest zapewniona jeżeli na poprzedzającym stopniu zabezpieczeń znajduje się wyłącznik selektywny, a na kolejnych stopniach zabezpieczeń znajdują się wyłączniki bezzwłoczne lub krótkozwłoczne.

Zwłoka czasowa wyłącznika różnicowoprądowego selektywnego powinna zapewniać przetrzymanie prądu różnicowego z marginesem bezpieczeństwa.

Zwłoka czasowa i selektywne działanie mogą zapewnić również urządzenia o nastawialnych wyzwalaczach takie jak wyłączniki CBR lub urządzeń MRCD.



Charakterystyki wyłączników różnicowoprądowych:

F1 – krótkozwłoczny $I_{\Delta n} = 30 \text{ mA}$,

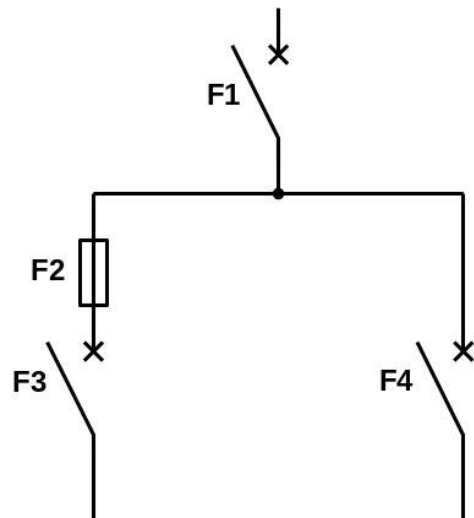
F2 – selektywny $I_{\Delta n} = 300 \text{ mA}$.

Koordynacja zabezpieczeń

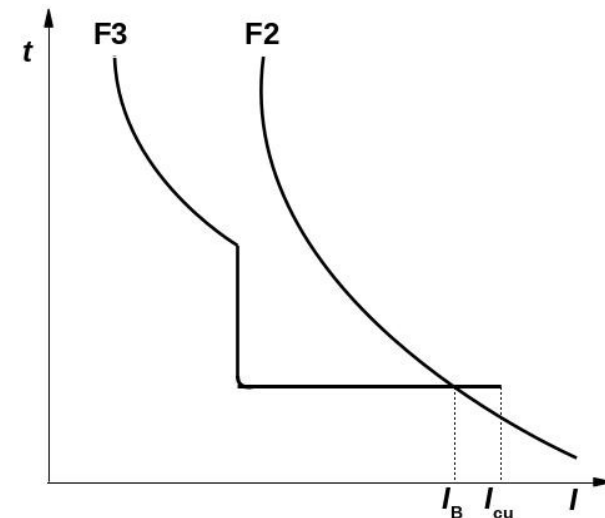
Dobezpieczenie wyłączników

Dobezpieczenie (ang. *back-up protection*) – dodatkowe, uzupełniające zabezpieczenie wspomagające urządzenie zabezpieczające lub ochronne, które ma niewystarczającą skuteczność lub ochronę przed narażeniami. Dobezpieczenie może być stosowane w przypadku łączników, ograniczników przepięć i innych urządzeń.

Jeżeli wyłącznik F3 jest zainstalowany w miejscu, w którym spodziewany prąd zwarciaowy jest większy niż prąd znamionowy wyłączalności zwarciowy to wyłącznik może być dobiepieczony z pomocą bezpiecznika F2.



Dobezpieczenie wyłącznika F3
bezpiecznikiem F2



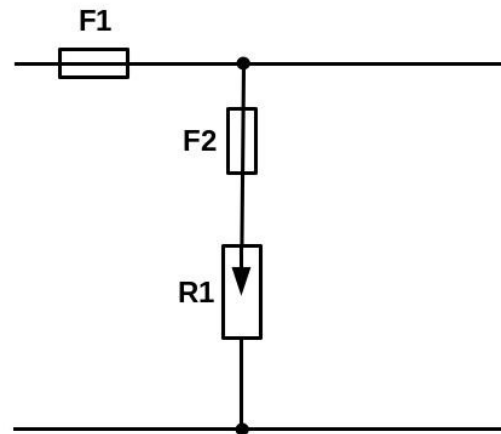
Charakterystyki czasowo-prądowe
dobezpiezanego wyłącznika F3
i dobiepiezającego bezpiecznika F2

Koordynacja zabezpieczeń

Dobezpieczenie ograniczników przepięć

Ogranicznik przepięć R1 musi być dobezpieczony bezpiecznikiem F2 jeżeli wymagany w torze głównym bezpiecznik F1 ma zbyt dużą wartość prądu znamionowego.

Spadek napięcia na bezpieczniku F2 spowoduje zwiększenie napięcia ograniczonego. Zadziałanie bezpiecznika F2 spowoduje odłączenie ogranicznika przepięć.



Dobezpieczenie wyłącznika F3
bezpiecznikiem F2

Koordinacja zabezpieczeń

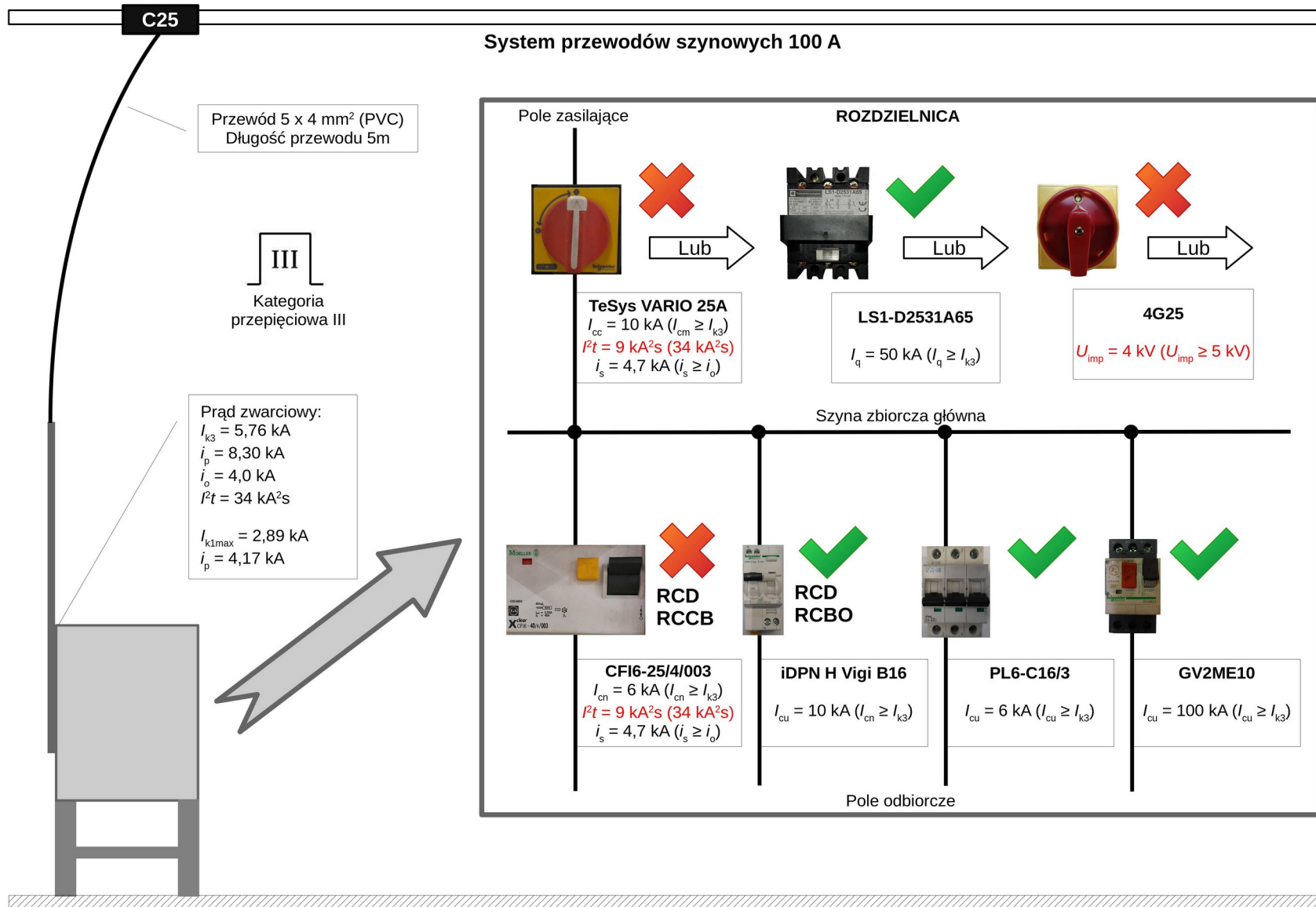
Dobezpieczenie wyłączników różnicowoprądowych typu RCCB

W przypadku zastosowania zabezpieczenia urządzeń różnicowoprądowych typu RCCB urządzeniem zabezpieczającym innego typu niż podany przez producenta, należy sprawdzić wartości wytrzymawane prądu szczytowego i całki Joule'a.

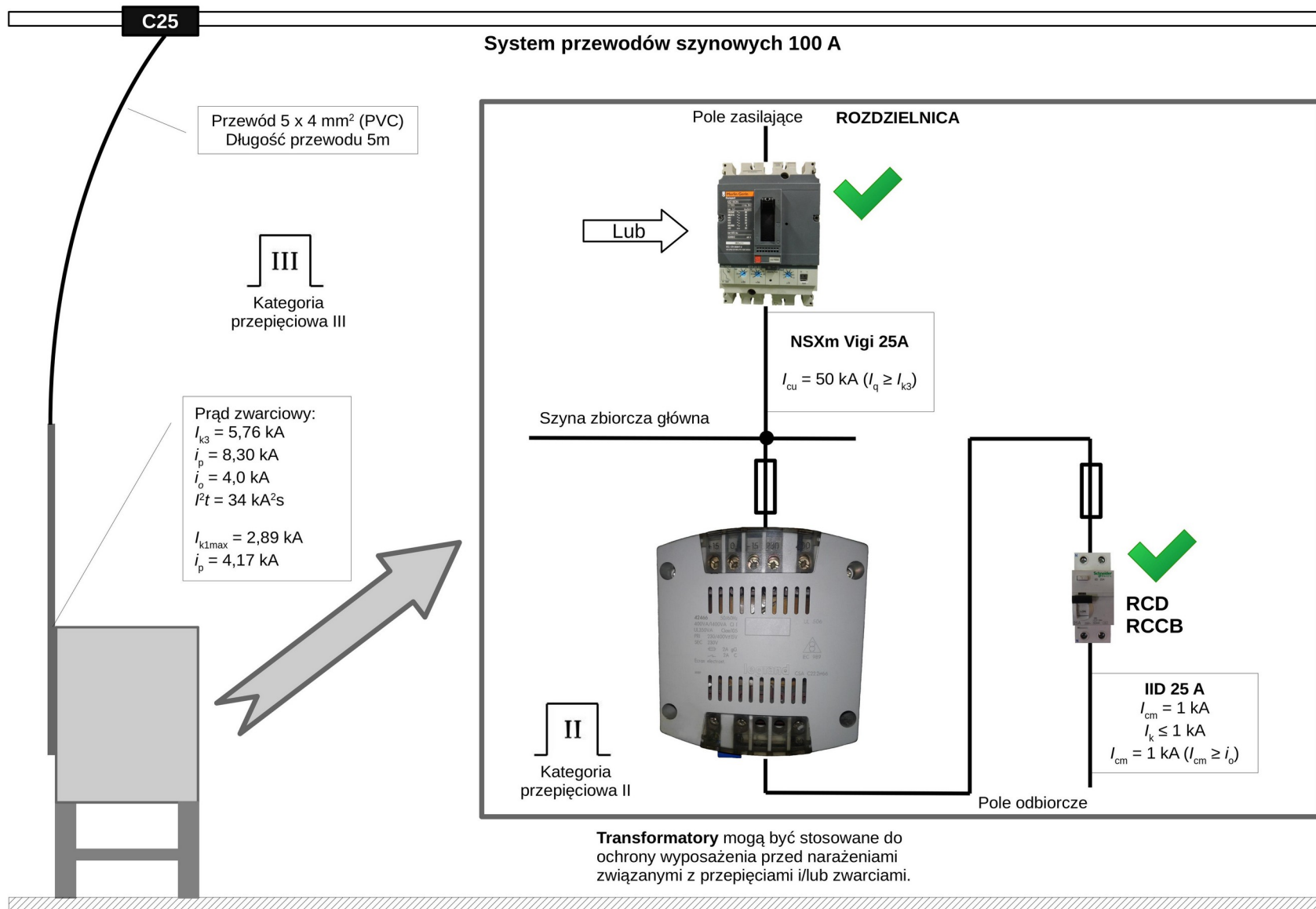
Wartości wytrzymawane prądu szczytowego i_s i całki Joule'a I^2t wyłączników różnicowoprądowych typu RCCB

$I_{nc}, I_{\Delta c}$	i_s, I^2t	I_n		
		$\leq 25 A$	$\leq 40 A$	$\leq 63 A$
500 A	i_s	0,5 kA		
	I^2t	0,53 kA		
4 500 A	i_s	1,5 kA	2,7 kA	3,9 kA
	I^2t	3,1 kA	9,7 kA	28 kA
6 000 A	i_s	1,7 kA	3 kA	4,05 kA
	I^2t	3,7 kA	11 kA	25 kA
10 000 A	i_s	2,2 kA	3,4 kA	4,3 kA
	I^2t	4 kA	12 kA	24 kA

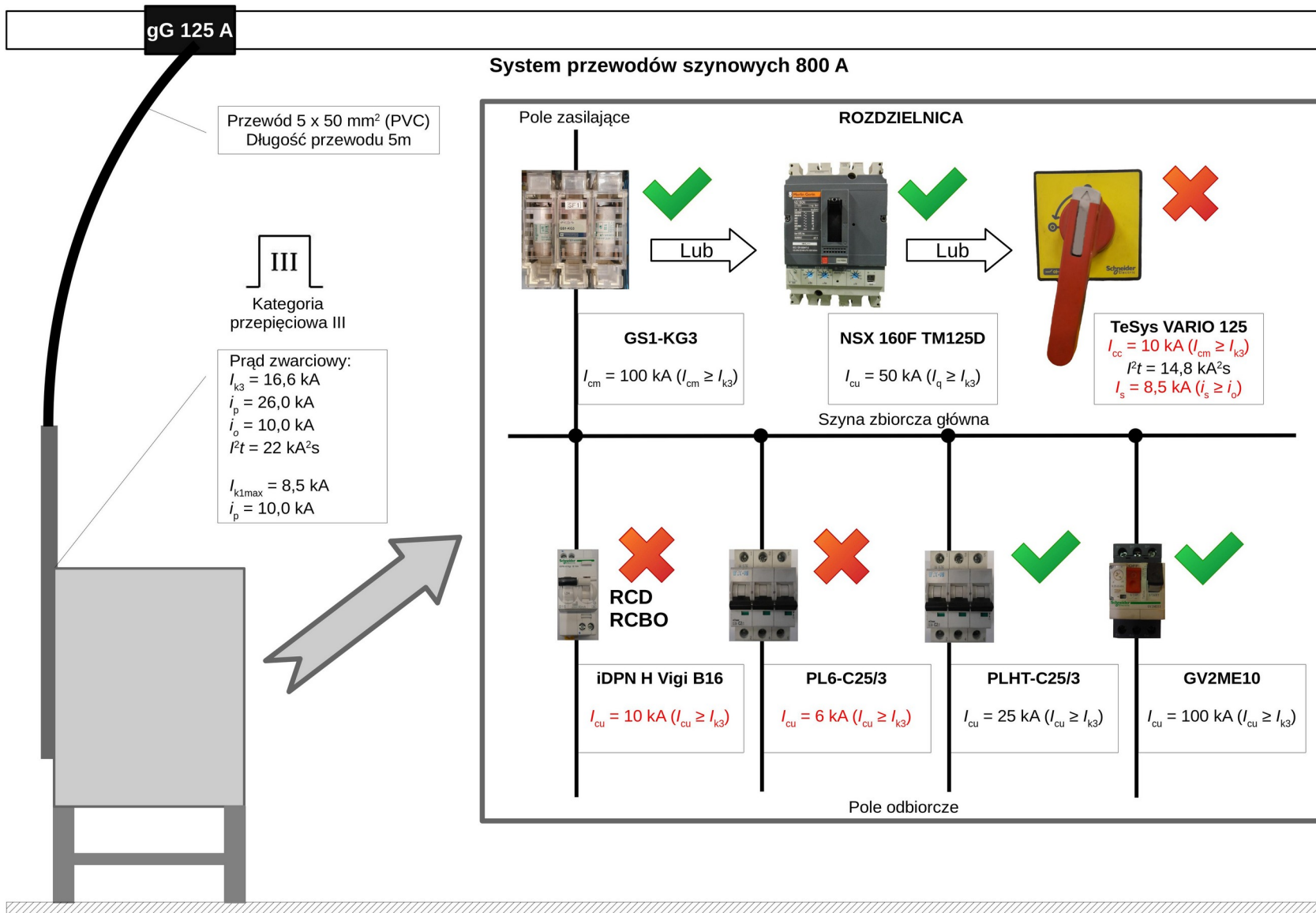
Przykłady prawidłowego i nieprawidłowego doboru podstawowego wyposażenia rozdzielnic maszyn



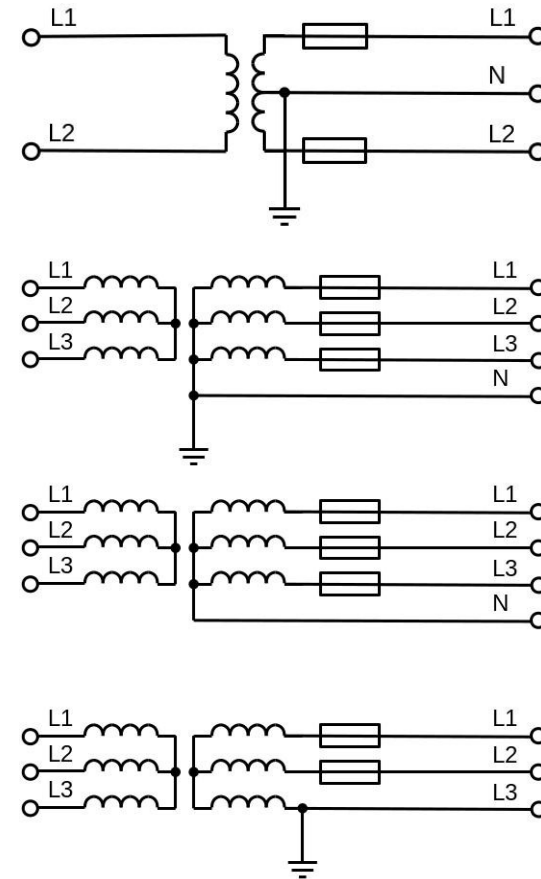
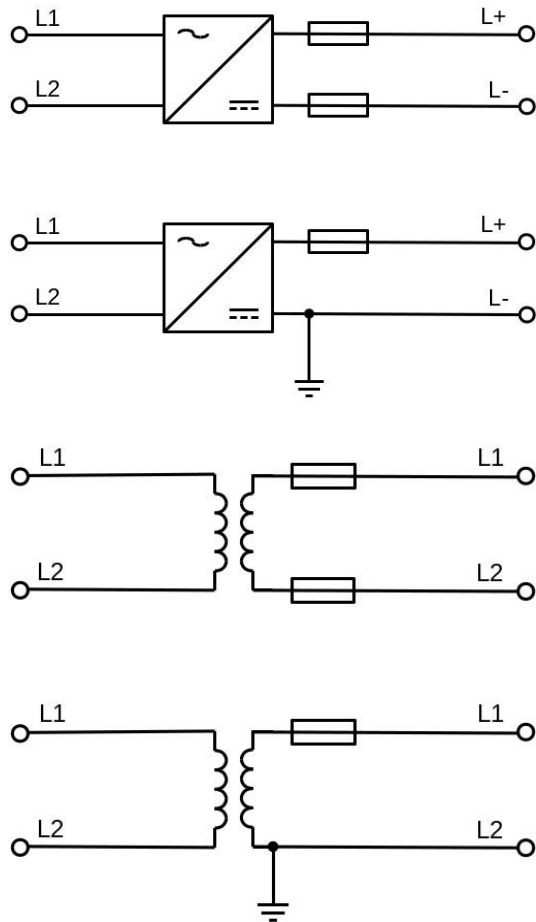
Przykłady prawidłowego i nieprawidłowego doboru podstawowego wyposażenia rozdzielnic maszyn



Przykłady prawidłowego i nieprawidłowego doboru podstawowego wyposażenia rozdzielnic maszyn



Oznaczenia biegunów zasilania



Oznaczenie przewodu neutralnego – **N** jest stosowane również do zacisku neutralnego urządzenia.

Schematy

Kody literowe stosowane w oznaczeniach urządzeń

A – dwie lub więcej funkcji.

B – konwersja zmiennej wejściowej na sygnał do dalszego przetworzenia.

C – gromadzenie energii, informacji lub materiałów.

E – dostarczanie energii promienistej lub cieplnej.

F – bezpośrednia ochrona przed niebezpieczeństwem lub przed warunkami niebezpiecznymi.

G – inicjowanie przepływu energii lub materiałów.

H – tworzenie nowego materiału lub produktu.

K – przetwarzanie sygnałów lub informacji do celów napędowych.

M – dostarczanie energii mechanicznej.

P – przedstawienie informacji.

Q – łączenie, rozłączanie lub zmiana przepływu energii, sygnałów lub materiałów.

R – ograniczanie, stabilizowanie ruchu lub przepływu energii, sygnałów lub materiałów.

S – zmiana operacji ręcznej na sygnał w celu dalszego przetworzenia.

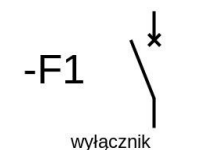
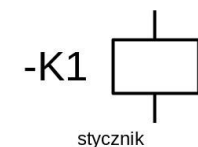
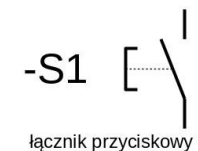
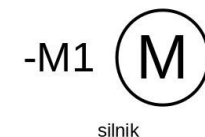
T – przetworzenie energii przy zachowaniu jej typu.

U – utrzymywanie obiektów w określonej pozycji.

V – przetwarzanie (obróbka) materiałów lub produktów.

W – prowadzenie lub transport z jednego miejsca na drugie.








X – połączenia obiektów.



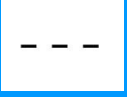
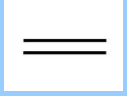

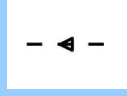
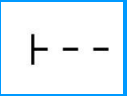
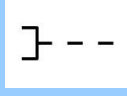
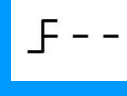
Schematy

Symbol	Nazwa
	Przyrząd, urządzenie, forma 1
	Przyrząd, urządzenie, forma 2
	Przyrząd, urządzenie, forma 3
	Linia oddzielająca
	Ekran
	Prąd przemienny
	Prąd stały

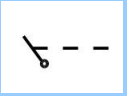
Schematy

Symbol	Nazwa
	Biegunowość dodatnia
	Biegunowość ujemna
	Uziemienie, symbol ogólny
	Uziemienie ochronne
	Uziemienie bezszumowe
	Połączenie wyrównawcze ochronne
	Połączenie wyrównawcze funkcjonalne

Schematy

Symbol	Nazwa
	Połączenie mechaniczne
	Połączenie mechaniczne
	Połączenie mechaniczne bez powrotu automatycznego
	Połączenie mechaniczne z powrotem automatycznym
	Uruchamianie ręczne
	Uruchamianie przez ciągnięcie
	Uruchamianie przez obracanie

Schematy

Symbol	Nazwa
	Uruchamianie przez przyciśnięcie
	Przycisk bezpieczeństwa
	Uruchamianie pedałem (działanie jednokierunkowe)
	Uruchamianie dźwignią
	Uruchamianie kluczem
	Uruchamianie rolką
	Uruchamianie zapadką

Schematy

Symbol	Nazwa
	Uruchamianie krzywką
	Uruchamianie przez zbliżenie
	Uruchamianie przez dotyk
	Uruchamianie zakumulowaną energią mechaniczną
	Uruchamianie przepływem cieczy
	Uruchamianie przepływem gazu
	Uruchamianie poziomem wilgotności

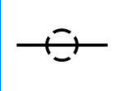






Schematy

Symbol	Nazwa
	Uruchamianie poziomem cieczy (pływakiem)
	Uruchamianie licznikiem
	Uruchamianie zegarem sterującym
	Uruchamianie urządzeniem elektronicznym
	Uruchamianie silnikiem
	Uruchamianie ciśnieniem (działanie jednokierunkowe)
	Uruchamianie ciśnieniem (działanie dwukierunkowe)

Schematy

Symbol	Nazwa
	Uruchamianie elektromagnetyczne
	Uruchamianie elektromagnetyczne
	Uruchamianie cieplne
	Przewód, linia
	Trzy przewody, forma 1
	Trzy przewody, forma 2
	Przewód giętki

Schematy

Symbol	Nazwa
	Przewód ekranowany
	Połączenie przewodów
	Zacisk, połączenie rozłączne
	Odgałężenie przewodów, forma 1
	Odgałężenie przewodów, forma 2
	Podwójne odgałężenie przewodów, forma 1
	Podwójne odgałężenie przewodów, forma 2








Schematy

Symbol	Nazwa
	Listwa zaciskowa
	Łącze wtykowe
	Łącze wtykowe sześciostykowe. Forma jednoliniowa
	Zestyk zwierny
	Zestyk rozwierny
	Zestyk zwierny podwójny
	Zestyk rozwierny podwójny








Schematy

Symbol	Nazwa
	Zestyk zwierny działający z wyprzedzeniem w stosunku do innych zestyków łącznika wielostykowego
	Zestyk zwierny działający z opóźnieniem w stosunku do innych zestyków łącznika wielostykowego
	Zestyk rozwierny działający z opóźnieniem w stosunku do innych zestyków łącznika wielostykowego
	Zestyk rozwierny działający z wyprzedzeniem w stosunku do innych zestyków łącznika wielostykowego
	Zestyk przełączny
	Zestyk przełączny bezprzerwowy
	Zestyk przełączny z położeniem neutralnym


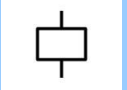

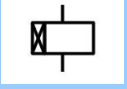

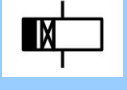
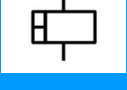
Schematy

Symbol	Nazwa
	Zestyk lustrzany
	Zestyki o wymuszonym przełączaniu
	Zestyk zwierny działający z opóźnieniem przy wzbudzeniu
	Zestyk zwierny działający z opóźnieniem przy odwzbudzeniu
	Zestyk rozwierny działający z opóźnieniem przy wzbudzeniu
	Zestyk rozwierny działający z opóźnieniem przy odwzbudzeniu
	Zestyk rozwierny działający z opóźnieniem przy wzbudzeniu i odwzbudzeniu


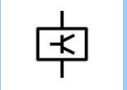
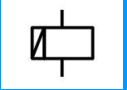
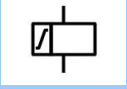
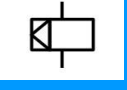
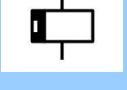
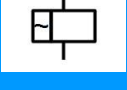
Schematy

Symbol	Nazwa
	Zestyk zwierny uruchamiany temperaturą
	Zestyki o wymuszonym przełączeniu
	Zestyk zwierny bez samoczynnego powrotu
	Zestyk rozwierny przekaźnika cieplnego
	Zestyk rozwierny przekaźnika cieplnego
	Zestyk zwierny łącznika krańcowego
	Zestyk rozwierny łącznika krańcowego

Schematy

Symbol	Nazwa
	Zestyk rozwierny łącznika krańcowego o skutecznym otwieraniu
	Cewka (człon napędowy) przekaźnika. Symbol ogólny
	Cewka (człon napędowy) przekaźnika działającego ze zwłoką przy odwzbudzeniu
	Zestyk rozwierny przekaźnika cieplnego
	Cewka (człon napędowy) przekaźnika niewrażliwego na prąd przemienny
	Cewka (człon napędowy) przekaźnika działającego ze zwłoką przy wzbudzeniu i odwzbudzeniu
	Cewka (człon napędowy) przekaźnika szybkiego



Schematy

Symbol	Nazwa
	Człon napędowy przekaźnika cieplnego
	Człon napędowy przekaźnika elektronicznego
	Cewka (człon napędowy) przekaźnika remanencyjnego. Forma 1
	Cewka (człon napędowy) przekaźnika remanencyjnego. Forma 2
	Cewka (człon napędowy) przekaźnika z blokadą mechaniczną
	Cewka (człon napędowy) przekaźnika polaryzowanego
	Cewka (człon napędowy) przekaźnika prądu przemiennego

Schematy

Symbol	Nazwa
	Cewka (człon napędowy) przekaźnika zliczającego
	Stycznik
	Stycznik o wyzwaniu samoczynnym
	Odłącznik
	Rozłącznik
	Wyłącznik
	Łącznik bezpiecznikowy

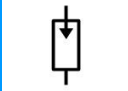
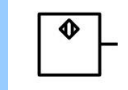





Schematy

Symbol	Nazwa
	Odłącznik bezpiecznikowy
	Rozłącznik bezpiecznikowy
	Lampa, lampka sygnalizacyjna. Symbol ogólny
	Lampka sygnalizacyjna o świetle migowym
	Dzwonek
	Gwizdek
	Syrena


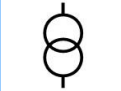





Schematy

Symbol	Nazwa
	Brzęczyk
	Zegar sterujący
	Termopara
	Iskiernik
	Iskiernik trójelektrodowy
	Iskiernik
	Iskiernik trójelektrodowy

Schematy

Symbol	Nazwa
	Ogranicznik przepięć, odgromnik
	Czujnik zbliżeniowy
	Czujnik dotykowy
	Falownik
	Przekształtnik DC/DC
	Prostownik
	Prostownik/falownik

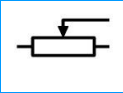
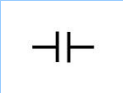
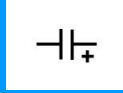
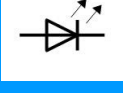
Schematy

Symbol	Nazwa
	Prostownik mostkowy
	Transformator jednofazowy. Forma 1 (schemat jednoliniowy)
	Transformator jednofazowy. Forma 2 (schemat wieloliniowy)
	Dławik. Forma 1 (schemat jednoliniowy)
	Dławik, cewka
	Transformator z przewodem środkowym. Forma 1 (schemat jednoliniowy)
	Transformator z przewodem środkowym. Forma 2 (schemat wieloliniowy)

Schematy

Symbol	Nazwa
	Maszyna elektryczna
	Prądnicą
	Silnik
	Silnik trójfazowy
	Silnik liniowy
	Silnik krokowy
	Rezystor

Schematy

Symbol	Nazwa
	Maszyna elektryczna
	Warystor
	Silnik
	Kondensator
	Kondensator elektrolityczny
	Dioda
	Dioda elektroluminescencyjna (LED)

Schematy

Symbol	Nazwa
	Dioda Zenera
	Dioda lawinowa
	Tyristor
	Tranzystor bipolarny P-N-P
	Tranzystor IGBT

Bibliografia

1. Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 26.09.1997 r. w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy.
2. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 30 października 2002 r. w sprawie minimalnych wymagań dotyczących bezpieczeństwa i higieny pracy w zakresie użytkowania maszyn przez pracowników podczas pracy.
3. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 21 października 2008 r. w sprawie zasadniczych wymagań dla maszyn.
4. Rozporządzenie Ministra Rozwoju z dnia 2 czerwca 2016 r. w sprawie wymagań dla sprzętu elektrycznego
5. PN-EN 61140:2005 Ochrona przed porażeniem prądem elektrycznym – Wspólne aspekty instalacji i urządzeń.
6. PN-HD 60364-4-41:2009 Instalacje elektryczne niskiego napięcia – Część 4-41: Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa – Ochrona przed porażeniem elektrycznym.
7. PN-IEC 60364-5-523:2001 Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Dobór i montaż wyposażenia elektrycznego. Obciążalność prądowa długotrwała przewodów.
8. PN-HD 60364-6:2008 Instalacje elektryczne niskiego napięcia – Część 6: Sprawdzanie.
9. PN-EN 60204-1:2010 Bezpieczeństwo maszyn – Wyposażenie elektryczne maszyn – Część 1: Wymagania ogólne.
10. PN-EN 50110-1:2001 Eksploatacja urządzeń elektrycznych.
11. PN-EN 61010-1:2011 Wymagania bezpieczeństwa dotyczące elektrycznych przyrządów pomiarowych, automatyki i urządzeń laboratoryjnych -- Część 1: Wymagania ogólne.
12. PN-EN 61439-1:2011 Rozdzielnice i sterownice niskonapięciowe – Część 1: Postanowienia ogólne.
13. Musiał E. - Zasilanie i zabezpieczanie obwodów sterowniczych. INPE nr 98-99.
14. Strojny J. - Zasady doboru aparatów elektrycznych. INPE nr 151.
15. Klajn A. - Zabezpieczenia nadprądowe w instalacjach elektrycznych ze szczególnym uwzględnieniem selektywności. INPE nr 166.
16. Czapp S. - Dobezpieczanie wyłączników różnicowoprądowych bez wbudowanego zabezpieczenia nadprądowego. INPE nr 170-171.
17. Electropedia: The World's Online Electrotechnical Vocabulary.
18. BGIA Report 2/2008e.
19. A. Sowa Ograniczanie przepięć w instalacji elektrycznej.
20. IFA List of the safety testing of machines - Electrical equipment -

