

Wyłączniki różnicowoprądowe

Wskazówki dotyczące zastosowań



Autor:
Inż. František Štěpán

EATON

Powering Business Worldwide

Ewolucja urządzeń zabezpieczających - kreujemy trendy



2009

Firma Moeller wypromowała pierwszy cyfrowy wyłącznik różnicowoprądowy RCCB i wyłącznik kombinowany RCBO



1980

Wprowadzenie nowej obudowy o rozmiarze 45 mm zamiast standardowej 80 mm



1965

Firma F&G rozpoczęła produkcję nowoczesnego, stałego przekaźnika magnetycznego (PMR)



1957

Dr Biegelmeier - patent na wyłączniki różnicowoprądowe (RCCB)

2016

Eaton wyprowadził na rynek AFDD - detektor iskrzenia



2016

1957

Bezpieczeństwo

Niezawodność

Innowacyjność

EATON

Powering Business Worldwide

Tabela

1. Wstęp	2
2. Wpływ prądu elektrycznego na organizm człowieka	3
3. Rodzaje i właściwości wyłączników różnicowoprądowych (RCD)	5
3.1. Zasada funkcjonowania wyłączników różnicowoprądowych RCD	5
3.2. Parametry wyłączników różnicowoprądowych RCD	6
3.3. Zależność od napięcia zasilającego	7
3.4. Urządzenie testujące (TEST)	8
3.5. Odporność na zwarcie i przeciążenie	8
3.6. Selektywność wyłączników różnicowoprądowych RCD	9
3.7. Opóźnienie czasowe- charakterystyki zadziałania (bezwłoczne, G, S)	10
3.8. Czułość na różnego rodzaju prądy różnicowe (typy AC, A, U, F, B, Bf, B+)	12
3.9. Warunki eksploatacji	14
3.9.1 Temperatura otoczenia	14
3.9.2 Napięcie znamionowe	14
3.10. Obwody o zmiennej częstotliwości	15
3.11. Oznaczenie	16
3.12. Konstrukcja wyłączników różnicowoprądowych RCD	17
3.12.1 Urządzenia różnicowoprądowe (RCD)	18
3.12.2 Wyłączniki różnicowoprądowe (RCCB)	18
3.12.3 Wyłączniki różnicowoprądowe z członem nadprądowym (RCBO)	19
3.12.4 Wyłączniki kompaktowe z zabezpieczeniem różnicowoprądowym (CBR)	19
3.12.5 Modułowe wyłączniki różnicowoprądowe z zewnętrznym przekładnikiem (MRCD)	20
3.12.6 Urządzenia monitorujące różnicowoprądowe (RCM)	20
3.13. Cyfrowe wyłączniki różnicowoprądowe RCD	21
4. Ochrona przed porażeniem	22
4.1. Ochrona w przypadku awarii	23
4.1.1 Sieć TN	23
4.1.2 Sieć TT	24
4.1.3 Sieć IT	24
4.2. Dodatkowa ochrona za pomocą wyłączników różnicowoprądowych RCD z $I_{\Delta n} \leq 30$ mA	25
5. Ochrona przeciwpożarowa	26
5.1. Ochrona przed prądami upływu	26
5.2. Przeciwpożarowy detektor iskrzenia (AFDD)	27
6. Ograniczenia stosowania wyłączników różnicowoprądowych RCD	28
7. Niezawodność wyłączników różnicowoprądowych RCD	28
7.1. Niezawodność operacyjna	28
7.2. Regularne serwisowanie	29
8. Pomiary wyłączników różnicowoprądowych RCD	30
9. Montaż w instalacjach elektrycznych	31
9.1. Niekompletna liczba przewodów roboczych	31
9.2. Stałe prądy upływu	31
9.3. Grupowanie obwodów za jednym wyłącznikiem różnicowoprądowym RCD	32
9.4. Koordynacja z urządzeniami przeciwprzepięciowymi (EMC)	33
9.5. Zastosowanie wyłączników różnicowoprądowych RCD typu AC, A i B	34
10. Rozwiązywanie problemów	38
10.1. Błędy połączeń	38
10.2. Automatyczna i zdalna aktywacja	40
Referencje	48

1. Wprowadzenie

W celu poprawnego zastosowania wyłączników różnicowoprądowych (RCD) należy znać zasadę działania i podstawowe zasady ich stosowania. Już w 1928 r. opisano zasadę zabezpieczenia różnicowego jako rozwiązanie zabezpieczające w przypadku kontaktu z wysokim napięciem. Pierwsze faktycznie funkcjonujące urządzenia różnicowoprądowe stosowane w instalacjach niskonapięciowych zostały zaprojektowane w latach 40. ubiegłego wieku z naciskiem na ochronę w przypadku awarii izolacji. Ich czułość wynosiła około 100 mA, a w latach 1950-tych można ją było podnieść do około 30 mA, co już wystarczyło, aby zapobiec śmiertelnym obrażeniom osób mających kontakt z elementami pod napięciem.

Instalacje wyposażone w urządzenia różnicowoprądowe zaczęły napotykać na problemy z niepożądanym ich wyzwaniem w wyniku przepięć w czasie burz. Rozwiązanie zaprezentował dr Gottfried Biegelmeier, który posiadał opatentowane w 1957 r. urządzenie różnicowoprądowe z akumulatorem. Zastosowano obwód z opóźnieniem wyzwolenia o co najmniej 10 ms, wystarczający dla wszystkich wartości przepięć w sieci (typ G; od niemieckich das Gewitter = burza). Było to rozwiązanie dla niepożądanego wyzwiania urządzeń różnicowoprądowych podczas burz. Wszystkie stosowane obecnie typy z opóźnieniem zadziałania (G, S) wykorzystują tę zasadę.

W latach 60-tych XX wieku zaczęto powszechnie stosować zabezpieczenia z czułymi urządzeniami różnicowo-prądowymi, zapewniające ochronę nawet w przypadku bezpośredniego kontaktu z częściami pod napięciem. Początkowo zakładały one zastosowanie w łazienkach, instalacjach zewnętrznych i w rolnictwie, a następnie stały się obowiązkowe dla wszystkich instalacji obsługiwanych także przez laików. Środki te wyraźnie zmniejszyły liczbę śmiertelnych obrażeń powstałych przy pracy z instalacjami niskonapięciowymi. Obecnie urządzenia różnicowoprądowe są stosowane we wszystkich instalacjach



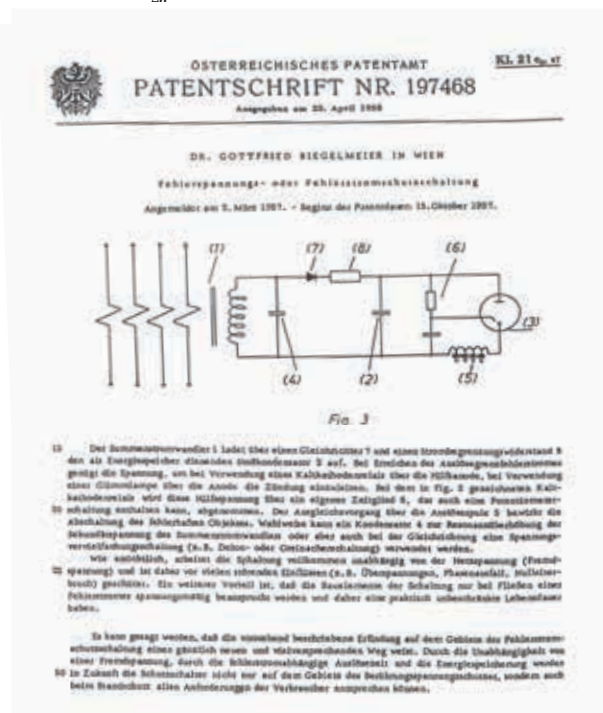
Rys. 1 Urządzenie różnicowoprądowe firmy Felten & Guillaume dla zastosowań przemysłowych, Niemcy, 1956



Rys. 2 Urządzenie różnicowoprądowe z opóźnieniem wyzwolenia, czułość 35 mA; produkowane przez Felten & Guillaume, Austria, 1958r.

niskonapięciowych, a następujące obszary zastosowań są definiowane w zależności od celu ich użytkowania:

1. dodatkowa ochrona przez wyłącznik różnicowoprądowy RCD z czułością $I_{\Delta n} \leq 30 \text{ mA}$;
2. samoczynne wyłączenie zasilania, czułość zależy od warunków zainstalowania
3. ochrona przeciwpożarowa przed pożarem spowodowanym prądami upływu za pomocą RCD z $I_{\Delta n} \leq 300 \text{ mA}$.

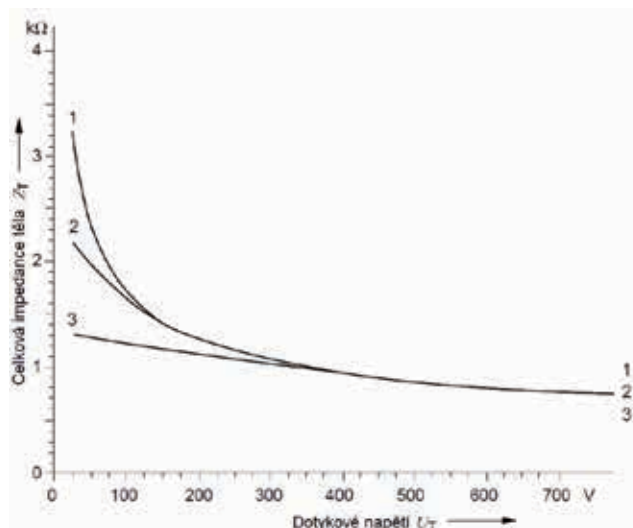


Rys. 3 Patent na urządzenie różnicowoprądowe z kondensatorem jako baterią, Dr Gotfried Biegelmeier, Austria, 1957

2. Wpływ prądu elektrycznego na organizm człowieka

W przypadku kontaktu człowieka z częścią przewodzącą, prąd elektryczny zaczyna przepływać przez ciało, a jeżeli jego wartość przekracza określony limit, może dojść do śmiertelnego uszkodzenia ciała. Prąd elektryczny ma różny wpływ na każdą osobę - w zależności od potencjału napięcia, wartości prądu, częstotliwości i oczywiście również od czasu trwania porażenia. W dużym stopniu zależy to również od czynników zewnętrznych, takich jak wilgotność, wilgoć itp. Wyniki badań podsumowano w raporcie IEC/TS 60479-1: Wpływ prądu na ludzi i zwierzęta- Część 1 (Effects of current on human beings and livestock- Part 1): Ogólne aspekty [1]. Niniejsza norma opisuje wpływ prądu przemiennego o częstotliwości do 100 Hz i wpływu prądu stałego. Oprócz Części 1, znajdują się również inne opisy poświęcone porażeniom, wysokim częstotliwościom itp. Podstawowymi normami określającymi warunki bezpieczeństwa są IEC 61140 ed. 2: Ochrona przed porażeniem prądem elektrycznym - Wspólne aspekty instalacji i urządzeń [16] oraz następujące IEC 60364-4-41 ed.2 (2007): Ochrona przed porażeniem prądem elektrycznym [19]. Wiąże się to bezpośrednio z określeniem właściwości wyłączników różnicowoprądowych.

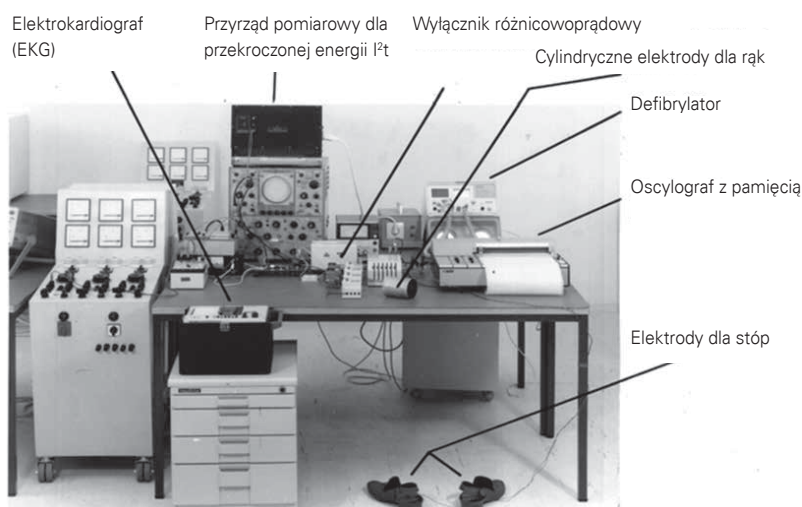
Praca serca jest sterowana przez impulsy elektryczne, a wszelkie zewnętrzne wpływy mogą spowodować jego zatrzymanie lub niekontrolowane drgania komór serca zwane migotaniem. Najgroźniejsza sytuacja występuje w przypadku, gdy prąd przechodzi od lewego ramienia do nóg, gdy prąd w głównej części ciała oddziałuje na serce. Są to fakty od dawna znane, ale nie było dowodów na to, w jaki sposób prąd elektryczny wpływa na człowieka. Gottfried Biegelmeier z Austrii przeprowadził w latach osiemdziesiątych XX wieku szereg eksperymentów na własnym ciele, aby potwierdzić znaczenie czułych wyłączników różnicowoprądowych. Jest on znany na całym świecie jako jeden z europejskich pionierów w zakresie badań nad wpływem prądu elektrycznego na człowieka, jest także autorem kilku patentów w dziedzinie projektowania urządzeń różnicowoprądowych. Stopniowo wystawiał się na działanie prądu przemiennego o napięciu 25 do 220 V. Elektrokardiograf wskazywał



Rys. 4 Całkowita impedancja Z_T dla torów prądowych pomiędzy obiema rękami o dużej powierzchni styku dla naprzedniego kontaktu $U_T = 25$ V do 700 V, 50/60 Hz w zmiennych warunkach [1]

Zapisy ze wspomnianych badań wyraźnie pokazują, że przy napięciu 220 V prąd działający na ciało jest tak duży, że powoduje silne skurcze mięśniowe. Pomiar odbywał się przy użyciu elektrod cylindrycznych, podczas gdy prąd przechodził pomiędzy obiema suchymi lub mokrymi rękami.

W trakcie dalszych pomiarów prąd płynął z lewej ręki do obu nóg. Podeszwy butów z miedzianej blachy były używane jako elektrody, patrz Rysunek 5. Za pomocą elektrokardiografu można zidentyfikować, w której fazie czynności serca prąd wykazuje znaczny wpływ.



Rys. 5 Zdjęcie z eksperymentów profesora Biegelmeiera z wpływem prądu na jego własne ciało [3, 4]

Strumienie prądu często powodowały początkową fazę niewydolności serca (faza niestabilności). **Rysunek 6** pokazuje tę fazę niestabilności jako falę T, która trwa około 200 ms. Istnieje duże ryzyko migotania komór. Efekty widoczne są w badaniu EKG i ciśnieniu krwi.

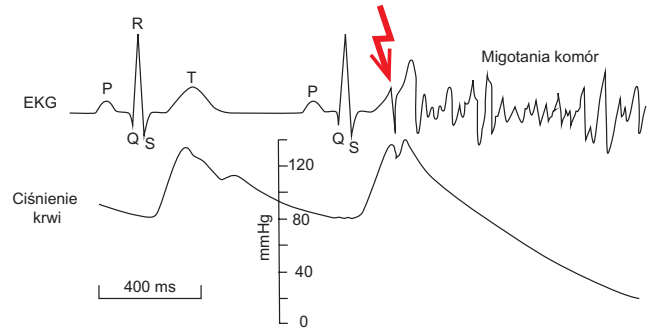
Wyniki badań są następujące:

- ▶ prądy o natężeniu od 10 do 30 mA nie są śmiertelne, ale ich długotrwała obecność powoduje skurcze mięśni, problemy z oddychaniem itp.
- ▶ **prąd powyżej 30 mA może być śmiertelny, chyba że osoba jest szybko oddzielona od źródła**
- ▶ prądy o natężeniu do 500 mA powodują śmierć, jeśli przepływają dłużej niż 0.5 s;
- ▶ prądy powyżej 500 mA są zwykle śmiertelne nawet w krótkich okresach ekspozycji.

Ocena wpływu prądu stałego DC na człowieka opiera się na opisach oddziaływania prądu stałego dla każdej strefy (DC-1, DC -2 itd.), które odpowiadają wpływowi prądu przemiennego (patrz **Rysunek 7**), gdziekolwiek wartości prądu stałego są około czterokrotnie wyższe niż w przypadku prądu przemiennego.

Przeprowadzone eksperymenty potwierdziły, że domniemana impedancja ciała jest współdzielona w takim samym stopniu przez ramiona i nogi. Profesor Biegelmeier wytrzymał bez negatywnych konsekwencji zdrowotnych prawie 500 porażen prądowych. To jednoznacznie potwierdziło, że czułe urządzenia różnicowoprądowe są w stanie zapewnić ochronę przed śmiertelnymi obrażeniami nawet w bezpośrednim kontakcie z elementami pod napięciem. Był to również jeden z decydujących momentów dla ostatecznego uznania dodatkowej ochrony w postaci czułych urządzeń różnicowoprądowych w przypadku bezpośredniego kontaktu osób z elementami pod napięciem.

Rysunek 7 przedstawia konwencjonalne strefy prądów przemiennych (15-100 Hz); tor prądowy od lewej ręki do stóp w zależności od czasu styku i odpowiednich czasów wyzwolenia wyłączników RCD o czułości 30 mA.



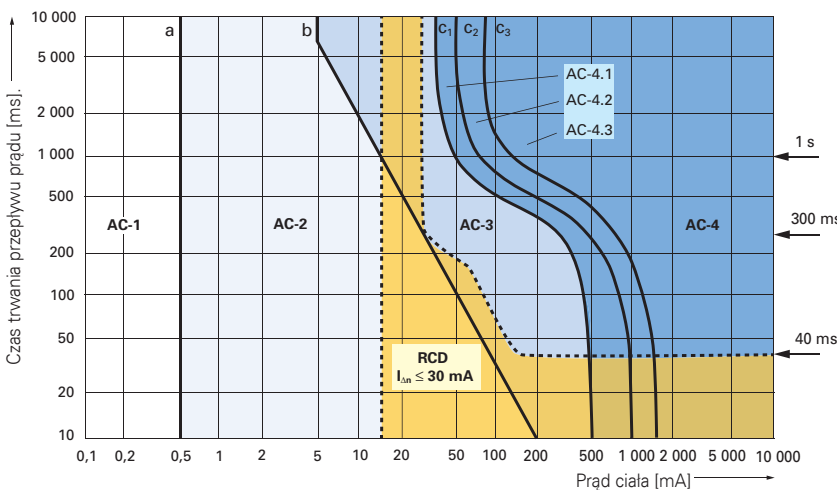
Rys. 6 Zapis EKG (elektrokardiogram) serca człowieka po poddaniu działaniu prądu elektrycznego

Znakowanie AC1 do AC4 wyraża strefy działania prądu przemiennego (AC- prąd przemienny). Krzywe a, b i c wyrażają granice różnych skutków oddziaływania prądu:

- **Krzywa a jest progiem percepcji** (prąd 0,5 mA powoduje mrowienie);
- **Krzywa b jest to wartość progowa separacji ze źródłem napięcia**, gdy narażona osoba nie może już opuścić elementu pod napięciem;
- **Krzywa c1 jest tzw. progiem bezpieczeństwa**. Mogą wystąpić patofizjologiczne skutki, takie jak zatrzymanie krążenia, zatrzymanie oddechu, oparzenia lub inne uszkodzenia komórek ciała ludzkiego. Prawdopodobieństwo wystąpienia migotania komór wzrasta z intensywnością prądu i czasem trwania narażenia na jego działanie.

Uwaga:

Może się wydawać, że im wyższa czułość wyłączników różnicowoprądowych tym lepiej. Wysoce wrażliwy RCD bardzo często wyzwala się z powodu prądów upływu, a ich wpływ na bezpieczeństwo nie jest wysoki. W przypadku kontaktu człowieka z częścią pod napięciem, prąd będzie przechodził przez jego ciało i będzie on ograniczany jedynie impedancją ciała, a wyłącznik różnicowoprądowy zareaguje dopiero po pewnym czasie (10- 30 milisekundach). W momencie kontaktu z częścią pod napięciem, osoba ta zostanie porażona pełnym przepięciem i nie ma praktycznie żadnej różnicy, czy zastosowany zostanie wyłącznik różnicowoprądowy o czułości 10 czy 30 mA.



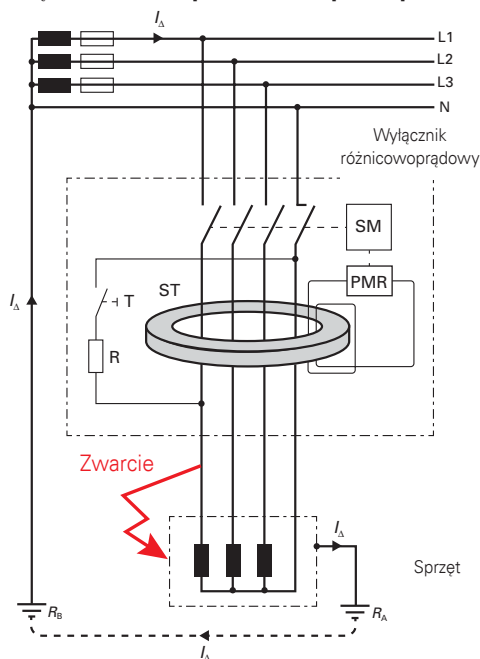
- AC-1 Brak odczuwania, brak reakcji szokowej.
- AC-2 Odczuwanie, brak szkodliwych skutków fizjologicznych.
- AC-3 Silne niedobrowolne skurcze mięśni; Może dojść do unieruchomienia (skurczu mięśni). Odwracalne upośledzenie czynności serca.
- AC-4 Mogą wystąpić skutki patofizjologiczne, takie jak zatrzymanie krążenia, bezdech. Prawdopodobieństwo migotania komór wzrasta wraz z natężeniem i czasem trwania przepływu prądu:
 - AC-4.1 Prawdopodobieństwo zwiększenia migotania komór do ok. 5 %
 - AC-4.2 Prawdopodobieństwo zwiększenia migotania komór do ok. 50 %
 - AC-4.3 Prawdopodobieństwo zwiększenia migotania komór do ponad 50 %

Rys. 7 Uzgodnione obszary czasowe/prądowe oddziaływań prądu zmiennego (15- 100 Hz) na osoby dla ścieżki prądowej odpowiadającej przejściu z lewego ramienia do stóp oraz porównanie z granicami czasów zadziałania wyłącznika różnicowoprądowego $I_{\Delta n} = 30 \text{ mA}$ [1], [13]

3. Typy i charakterystyka wyłączników różnicowoprądowych (RCD)

3.1. Zasada funkcjonowania wyłączników różnicowoprądowych RCD

Każdy wyłącznik różnicowoprądowy (RCD) składa się z trzech podstawowych podzespołów - **przekładnik prądowy sumujący, przekaźnik wyzwalający i mechanizm przełączający**. Zadaniem poszczególnych części jest wykrywanie i ocena prądu różnicowego oraz przerwanie zasilania w przypadku, gdy prąd różnicowy przekracza określoną wartość. Dla prawidłowego działania RCD, **wszystkie czynne przewody** lub co najmniej tyle czynnych przewodów, ile jest koniecznych do prawidłowego działania urządzenia, **musi przechodzić przez przekładnik prądowy**.



- SM mechanizm przełączania
- PMR przekaźnik z magnesami trwałymi
- ST prąd sumaryczny transformatora
- T przycisk testu
- R rezystor
- I_{Δ} prąd różnicowy
- R_A rezystancja uziemienia urządzenia
- R_B rezystancja uziemienia zasilacza

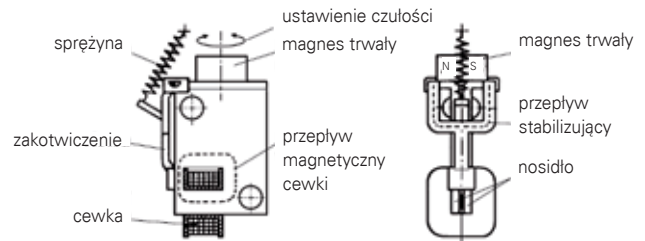
W tym przypadku do opisu używana jest sieć TT, ale to samo odnosi się analogicznie do innych typów sieci.

Rys. 8 Połączenie i działanie wyłączników różnicowoprądowych RCD

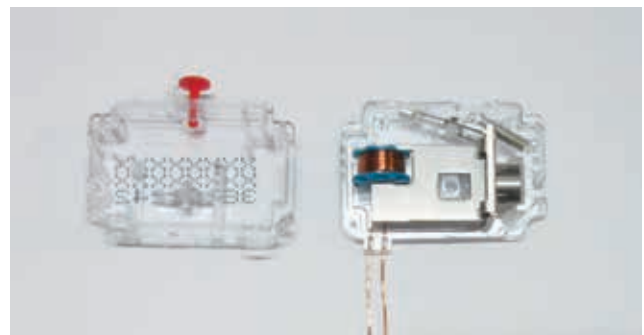
RCD pracuje na zasadzie **porównywania prądów w przewodach zasilających**, które przechodzą przez jego przekładnik prądowy. W warunkach normalnych (brak błędu faza-ziemia) sumaryczne całkowite lub chwilowe wartości prądu są równe zero. Wewnątrz rdzenia przekładnika sumującego indukowany jest strumień magnetyczny z różnych przewodów czynnych, a suma ich wartości chwilowych wynosi zero (suma wektorowa). Dopiero po upływie prądu np. do ziemi, pewna część prądu zaczyna płynąć na zewnątrz przewodów pod napięciem, co stwarza stan niezbilansowania. Powoduje to wzbudzenie odpowiedniego strumienia magnetycznego wewnątrz rdzenia przekładnika sumującego, a uzwojenie wyjściowe generuje prąd, który aktywuje przekaźnik wyzwalający i daje impuls do zadziałania styków RCD.

Przekładnik prądowy sumujący najczęściej jest wykonany jako transformator pierścieniowy. Jako materiał magnetyczny stosowany jest permalój; nowsze typy mogą wykorzystywać specjalne materiały magnetyczne o strukturze nanokrystalicznej. Sercem RCD niezależnego od napięcia jest **przekaźnik wyzwalający z magnesem trwałym (PMR)**, patrz Rysunek 9. W stanie beczynności armatura przekaźnika jest stale utrzymywana. Po doprowadzeniu prądu do cewki pobudzającej siła przyciągania magnesu stałego jest osłabiona, a siła sprężyny odchyła armaturę przekaźnika. Ze względu na swoją prostotę i sprawdzoną niezawodność ten typ przekaźnika polaryzacyjnego jest najczęściej stosowany. Mechanizm przełączający **RCD** musi być czuły i jednocześnie zapewniać wystarczającą siłę na stykach. Należy zapewnić niezawodne działanie we wszystkich pozycjach montażowych. Każdy tor prądowy musi być zdolny do przewodzenia prądu

a) podstawowe części konstrukcyjne



b) widok na przekaźnik przy zdjętej osłonie

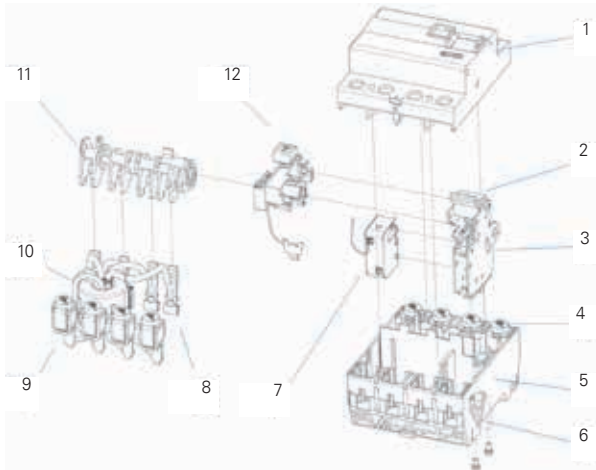


Rys. 9 Przekaźnik wyzwalający z magnesem trwałym (PMR)

znamionowego przez cały okres użytkowania. Odległość między wyzwolonymi stykami musi zapewniać bezpieczną izolację elektryczną, a styki muszą być zabezpieczone przed prądami przepięciowymi i zwarciami o przewidywanym prądzie zwarciovym. Ponadto w przypadku typów wielobiegunowych styki przewodu neutralnego N muszą się zamykać przed i otwierać po stykach przewodu sieciowego L. Powodem jest ograniczenie niepożądanego przepięcia w fazach.

Wszystkie RCD muszą być wyposażone w **urządzenie testujące** składające się z przycisku testowego T (Test) i rezystancji R, w zależności od napięcia roboczego. Przycisk testowy musi być dostępny dla użytkownika. Poprzez pchnięcie, prąd resztkowy będzie symulowany za pomocą rezystora testowego R, powodując przepływ prądu poza transformator sumaryczny.

Wrażliwe RCD zapewniają ochronę przed śmiertelnymi obrażeniami w przypadku wystąpienia prądu różnicowego, tzn. gdy prąd uszkodzeniowy przepływa poza RCD. Jednak na zasadzie działania nie są one w stanie zareagować na taką sytuację, w której prąd uszkodzeniowy przepływa tylko pomiędzy dwoma przewodami pod napięciem, co następuje w przypadku zetknięcia się człowieka z dwoma biegunami lub w przypadku zwarcia pomiędzy przewodami roboczymi.



- 1 pokrywa, górna część
- 2 dźwignie sterujące
- 3 mechanizm
- 4 zaciski mostkowe
- 5 podstawa osłony
- 6 komory łuku
- 7 przekaźnik wyzwalający wewnątrz pokrywy
- 8 ruchomych styków
- 9 zaciski mostkowe
- 10 przekładnik prądowy sumujący
- 11 obrotowy układ styków ruchomych
- 12 przycisk resetowania z mnożnikiem rezystancji



Rys. 10 zestaw RCD- wersja 4-biegunowa (RCCB)

3.2 Parametry wyłączników różnicowoprądowych RCD

Parametry RCD są określone w normach produktowych [12 do 17].

- **Znamionowy prąd roboczy $I_{\Delta n}$** : wartość prądu znamionowego określona przez producenta, gdy wyłącznik różnicowoprądowy musi zadziałać w określonych warunkach. Wartość ta jest podawana na wyłączniku wraz z charakterystykami roboczymi. Jest to główny parametr wyłącznika różnicowoprądowego i związane są z nim warunki ochrony przed porażeniem.
- **Prąd różnicowy I_{Δ} (prąd upływu)**: wartość szczytowa wektora wynikowego wartości chwilowych prądów przepływających przez przez obwód główny RCD. I_{Δ} jest dowolną wartością prądu niższą, równą lub wyższą niż $I_{\Delta n}$.
- **Prąd różnicowy niewyzwalający wyłącznika $I_{\Delta no}$** : wartość prądu różnicowego, przy którym (łącznie z niższymi wartościami) wyłącznik automatyczny, w w określonych warunkach, nie zadziała. Określony progmem $0,5 I_{\Delta n}$. Wartości prądu różnicowego roboczego i nieroboczego są ustawione fabrycznie na $0,75 I_{\Delta n}$.
- **Granica czasu bezczynności $t_{\Delta a}$ (opóźnienie czasowe)**: maksymalny czas, dla którego wyłącznik różnicowoprądowy może być wystawiony na działanie prądu różnicowego o wartości wyższej niż wartość znamionowa prądu różnicowego $I_{\Delta n}$ która go nie wyzwoli. Wartość ta charakteryzuje RCD z opóźnieniem (typy G, S i inne, podczas gdy dla typu G graniczny czas bezczynności wynosi 10 ms, a dla typu S 40 ms). W czasie bezczynności wyłącznik różnicowoprądowy nie reaguje na prądy różnicowe.

Głównym parametrem wyłącznika różnicowoprądowego jest znamionowy prąd różnicowy $I_{\Delta n}$. Znormalizowane wartości to 10, 30, 100, 300, 500 mA i 1 A. Jeżeli prąd różnicowy osiąga wartość $100 \% I_{\Delta n}$ lub większą, wyłącznik RCD musi zadziałać. Jeśli prąd różnicowy nie osiąga $50 \% I_{\Delta n}$, wyłącznikowi nie wolno zadziałać. Tym samym RCD może zadziałać od 50 do $100 \% I_{\Delta n}$. Praktycznie oznacza to, że przy czułości RCD 30 mA, wyzwolenie może nastąpić już po osiągnięciu prądu upływu 15 mA, co powoduje problemy w instalacjach o wyższych prądach upływu. Zwiększa to ich zastosowanie w obwodach o wyższych prądach upływu.

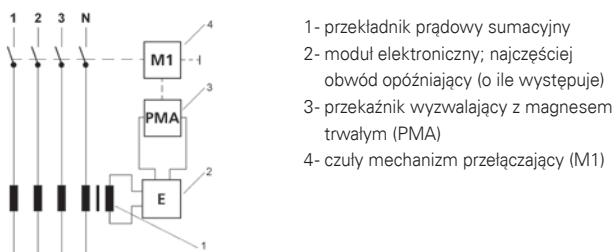
3.3 Zależność od napięcia zasilającego

Ze względu na ich zależność od napięcia zasilającego, wyłączniki RCD można podzielić w następujący sposób:

- niezależne od napięcia (VI) - funkcjonalnie niezależne od napięcia zasilającego (wcześniej nazywane FI);
- zależny od napięcia (VD) - funkcjonalnie zależny od napięcia zasilającego (wcześniej nazywane DI);
- zależne od zasilania pomocniczego - dopuszczalne tylko w instalacjach z wykwalifikowanym personelem obsługi.

a) RCD niezależne od napięcia zasilającego

RCD niezależne od napięcia zasilającego nie potrzebują do pracy dodatkowej energii i wykorzystują prąd różnicowy uzyskany z uzwojenia wyjściowego przekładnika prądowego. Jego funkcja ochronna zależy tylko od prądu różnicowego. Jedyne uzależnienie od napięcia zasilającego dotyczy urządzenia testującego, które wytwarza wymagany prąd różnicowy tylko w określonym zakresie napięć. Obwód elektryczny po stronie wtórnej przekładnika przeznaczony



- przekładnik prądowy sumaryczny
- moduł elektroniczny; najczęściej obwód opóźniający (o ile występuje)
- przełącznik wyzwalający z magnesem trwałym (PMA)
- czuły mechanizm przełączający (M1)

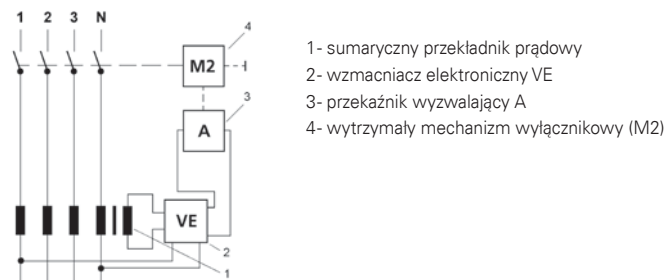
Rys. 11 Schemat podłączenia RCD, zależny funkcjonalnie od napięcia zasilającego (VI)

jest do pracy przy bardzo niskiej mocy wejściowej wyzwalania (ok. 50-120 μ VA). Oczywiście, bardzo czuły przekaźnik wyzwalający i precyzyjny mechanizm są niezbędne dla niezawodności całego urządzenia. Dlatego tak ważne są regularne kontrole działania za pomocą przycisku testowego, dzięki czemu użytkownik ma stały wgląd w działanie całego RCD.

b) RCD funkcjonalnie zależne od napięcia zasilającego

W urządzeniach różnicowoprądowych zależnych od napięcia zasilającego napięcie z wyjściowego uzwojenia przekładnika sumującego jest wzmacniane za pomocą wzmacniacza elektronicznego, który następnie uruchamia wytrzymały przekaźnik wyzwalający. Wzmacniacz elektroniczny jest stale podłączony do sieci zasilającej i zapewnia wystarczającą moc wyjściową dla przekaźnika wyzwalającego (ok. 0,1 do 1 W). Ten typ jest bardziej odporny na przeciążenie prądem stałym pulsującym. Wyłączniki różnicowoprądowe są w pełni porównywalne z wyłącznikami niezależnymi od napięcia, głównie dzięki prostej budowie mechanizmu wyłącznikowego i wytrzymałemu przekaźnikowi wyzwalającemu.

Zależne od napięcia zasilającego przekaźniki RCD mogą być zaprojektowane jako wyłączniki, które zadziałają lub nie zadziałają w przypadku zaniku napięcia zasilającego. Pierwszy typ jest stosowany w instalacjach stacjonarnych, które pozostaną zamknięte w przypadku zaniku zasilania. Typy wyłączników w przypadku zaniku zasilania stosowane są głównie do zabezpieczania obwodów maszyn roboczych, ponieważ po ponownym podaniu napięcia maszyny takie nie wznowią pracy w sposób niepożądany.



- sumaryczny przekładnik prądowy
- wzmacniacz elektroniczny VE
- przełącznik wyzwalający A
- wytrzymały mechanizm wyłącznikowy (M2)

Rys. 12 Schemat podłączenia RCD, zależny funkcjonalnie od napięcia zasilającego (VD)

Zastosowane obwody elektroniczne muszą spełniać warunki EMC oraz być dostatecznie odporne na przepięcia impulsowe w sieci zasilającej. Podobnie jak w przypadku wszystkich urządzeń elektronicznych, w nowych instalacjach obowiązkowe jest stosowanie ochronników przepięciowych, zapewniających wystarczającą ochronę.

Uwaga:

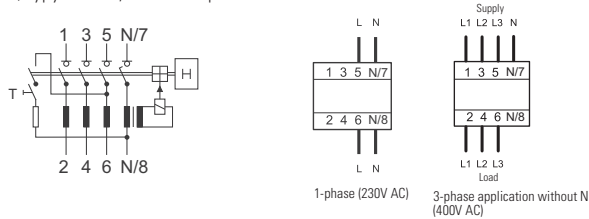
Rozwój wyłączników różnicowoprądowych RCD w Europie podążał w kierunku typów niezależnych od napięcia, podczas gdy Ameryka i inne kraje od samego początku koncentrowały się na typach zależnych od napięcia. Długotrwałe badania i eksploatacja na całym świecie wyraźnie dowiodły, że zarówno konstrukcje zależne od napięcia, jak i niezależne zapewniają obecnie w pełni porównywalną ochronę. W związku z tym w międzynarodowej normie IEC 60364 dla instalacji elektrycznych uznaje się oba typy urządzeń za równoważne. Mimo to niektórzy producenci i komisje normalizacyjne nadal nalegają na ograniczenie stosowania typów uzależnionych od napięcia, twierdząc, że są one niebezpieczne i narażone na awarię. Argumentem przeciwko typom zależnym od napięcia jest na przykład ryzyko przerwania przewodu neutralnego (N), w którym to przypadku obwody elektroniczne nie zadziałają. Jednak w przypadku przerwania zasilania wszystkie urządzenia jednofazowe natychmiast przestaną działać, więc co stałe się natychmiast widoczne i w interesie operatora leży jak najszybsze usunięcie tej awarii. Opracowano wiele badań na ten temat, których wyniki pokazały, że istnieje ryzyko przerwania przewodu neutralnego, ale w zaawansowanych sieciach europejskich prawdopodobieństwo przerwania jest wyraźnie niskie (wskaźnik awaryjności około 30 ppm). Ryzyko porażenia prądem elektrycznym jest jednocześnie zdeterminowane prawdopodobieństwem zaniku zasilania przy współczesnej awarii i przy kontakcie człowieka z częścią czynną, tak więc wynikające z tego prawdopodobieństwo wystąpienia takiej kombinacji w jednym momencie jest bardzo niskie. Podstawowe normy bezpieczeństwa określają również, że RCD nie może być jedynym środkiem ochronnym (zob. Rysunek 51 - koncepcja trójstopniowej ochrony). Wyłącznik RCD nigdy nie działa w odosobnieniu, lecz zawsze jako część całej instalacji, w związku z czym nigdy nie ponosi wyłącznej odpowiedzialności za bezpieczeństwo całej instalacji. Nawet sama sieć TN zapewnia znacznie wyższy poziom bezpieczeństwa niż sieć TT. Wniosek jest taki, że w odniesieniu do wszystkich elementów instalacji, decydujących o jej bezpieczeństwie, nie ma znaczenia, czy stosowane są typy RCD uzależnione od napięcia, czy też niezależne od napięcia. Dodatkowo, typy zależne od napięcia zapewniają obecnie szereg dodatkowych funkcji, które nie są możliwe w przypadku klasycznych typów elektromechanicznych. Przykładem mogą być długo stosowane typy B we wszystkich możliwych wariantach.

3.4 Urządzenie testujące (TEST)

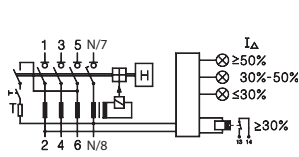
Każde urządzenie RCD musi być wyposażone w dostępny i wyraźnie oznakowany przycisk testu. Funkcjonalność urządzenia należy sprawdzać za pomocą tego przycisku w regularnych odstępach czasu, zgodnie z zaleceniami producenta, zazwyczaj raz w miesiącu. W przypadku nowych typów o zwiększonej niezawodności eksploatacyjnej okres ten wynosi od sześciu miesięcy do jednego roku. Obwód przycisku testu jest podłączony w taki sposób, aby generował prąd różnicowy, który jest wyższy od znamionowego prądu różnicowego RCD $I_{\Delta n}$. Normy produktowe stanowią, że przy napięciu znamionowym przepływ magnetyczny indukowany przez przekładnik prądowy nie może przekraczać 2,5-krotności przepływu generowanego przez znamionowy prąd różnicowy $I_{\Delta n}$. Urządzenie testujące musi nadal działać przy napięciu 0,8 razy większym od napięcia znamionowego.

Czterobiegunowe RCD mogą być stosowane również w obwodach o mniejszej liczbie przewodów pod napięciem. Jednocześnie przewody muszą być podłączone do odpowiednich zacisków, aby zachować funkcjonowanie obwodu testowego. Tester w typowych wyłącznikach RCD jest przeznaczony do pracy przy napięciu sieciowym (400 V) i bez problemów współpracuje również z napięciem fazowym (230 V). Zalecane połączenia podane są w katalogu. W przypadku okablowania obwodów elektronicznych, w razie potrzeby, podświetlane są niedozwolone połączenia. **Uniwersalnym rozwiązaniem jest podłączenie wszystkich zacisków wejściowych do wszystkich przewodów pod napięciem w sieci, a do zacisków wyjściowych można podłączyć tylko wymaganą liczbę przewodów.**

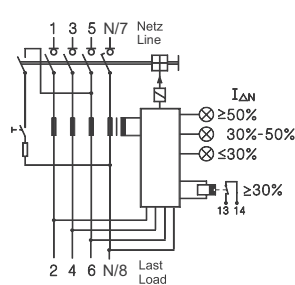
a) typy serii PF, FRCmM itp.



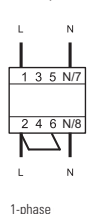
b) typ dRCM (typ cyfrowy)



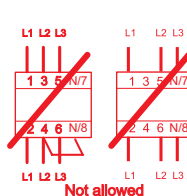
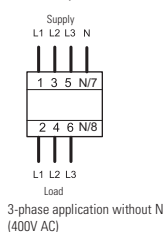
c) typ FRCdM (typ B)



ważny dla b)



ważny dla b), c)



Rys. 13 Przykłady wewnętrznego okablowania urządzenia testującego (Test) podłączonego między L3 i N

3.5 Odporność na zwarcie i przeciążenie

Głównymi parametrami dotyczącymi wytrzymałości na prądy udarowe są:

- **znamionowa zdolność przełączania i wyzwiania I_m** : wartość szczytowa składowej przemiennego domniemanego prądu zwarciovego, określoną przez producenta, którą RCD może przełączać w określonych warunkach. Parametr ten odnosi się do prądu zwarciovego w przewodach pod napięciem.
- **znamionowa zdolność przełączania i wyzwiania $I_{\Delta m}$** : wartość skuteczna elementu przemiennego o domniamanym prądzie różnicowym, określona przez producenta, który może być przełączany przez RCD w określonych warunkach. Parametr ten odnosi się do prądu zwarciovego między przewodem pod napięciem a przewodem ochronnym.

Zdolność do zadziałania ($I_m, I_{\Delta m}$) wyłącznika ochronnego różnicowoprądowego (RCCB) bez elementu bezpieczeństwa jest bardzo ograniczona. Dla prądów do 40 A wartość ta wynosi 500 A, dla $I_n = 63$ A jest to 630 A, dla $I_n = 80$ A równa się 800 A i dla $I_n = 100$ A zdolność wyłączania wynosi 1000 A. Mimo że styki znajdują się w komorach łukowych, czasy zadziałania 10 ms i więcej (np. w typach selektywnych wartość ta wynosi minimalnie 40 ms) są zbyt długie, aby osiągnąć wysoką rezystancję zwarciovą styków. Bezpiecznik może być umieszczony w dowolnym miejscu na wejściu.

Warunkowa rezystencja zwarciovą (I_f) jest wartością prądu zwarcia z bezpiecznikiem wstępnym gG/gL, przy którym styki nie ulegną uszkodzeniu.

Prąd znamionowy styków

Wyłączniki RCD mają na celu ochronę użytkowników w



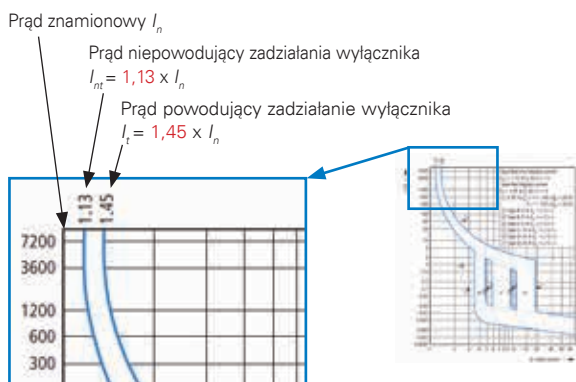
Rys. 14 Symbol rezystancji zwarciovą warunkowej 10 kA z bezpiecznikiem (rezerwowym) przed wyłącznikiem RCD o zalecanej wartości (np. 63 A)gG/gL

RCCB (I_n)	Ochrona przeciwzwarciovą (I_f)
16 A	63 A gG/gL
25 A	63 A gG/gL
40 A	63 A gG/gL
63 A	63 A gG/gL
80 A	80 A gG/gL
100 A	100 A gG/gL

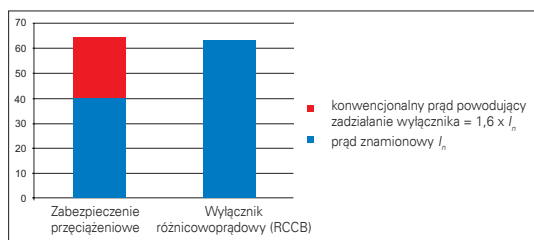
Tab. 1 Maksymalna wartość bezpiecznika dla zabezpieczenia przeciwzwarciovego

przypadku niedozwolonego przeciążenia styków, aby zapobiec ich sklepaniu się lub zgrzewaniu się prądami przepływającymi. We wszystkich przypadkach zapewniona jest ochrona styków w wyłączniku RCD z zabezpieczeniem przeciw przeciążeniowemu (RCBO). Bezpieczniki lub wyłączniki należy montować przed wyłącznikami różnicowoprądowymi bez zabezpieczenia przeciążeniowemu (RCCB). Ich prąd znamionowy dobiera się tak, aby był równy prądowi znamionowemu styków RCD. Na pierwszy rzut oka może się wydawać, że wszystko jest w porządku, ale nie jest to prawdą. Problem ten wynika z różnych definicji prądu znamionowego wyłączników i wszystkich innych przełączników (wyłączniki, styczniki, ...) oraz prądu znamionowego wyłączników różnicowoprądowych (wyłączniki, bezpieczniki). Prąd znamionowy styków określa zdolność styków do stałego obciążenia.

Jednakże do wyłączników stosuje się inną definicję. Poziom prądu, gdy wyłącznik nie zadziała w uzgodnionym czasie (zazwyczaj 1 godzina), nazywany jest prądem konwencjonalnym niewyzwalającym urządzenia I_{nt} a prąd, pod wpływem którego urządzenie ma zadziałać nazywany jest prądem konwencjonalnym wyzwalającym urządzenie I_t . Na przykład w przypadku wyłączników nadprądowych, $I_{nt} = 1,13 \times I_n$ and $I_t = 1,45 \times I_n$ (zob. Rys. 15). Oznacza to jednak, że styki mogą być przeciążone przez długi czas bez zadziałania wyłącznika. Dlatego prąd znamionowy bezpiecznika lub wyłącznika powinien być o jeden poziom niższy od prądu znamionowego wyłącznika RCD. Należy to uwzględnić we wszystkich instalacjach o wysokiej jednoczesności. Konkretnie wartości podane są w dokumentacji katalogowej i są gwarantowane przez producenta.



Rys. 15 Porównanie prądów znamionowych wyłącznika RCD i MCB (wyłącznik nadprądowy)



Przykład:

- RCCB z 63 A
- Zabezpieczenie przeciążeniowe- bezpiecznik 40 A gG/gL posiada ograniczenie prądu powodującego zadziałanie wyłącznika (do jednej godziny) = $1,6 \times 40 = 64$ A

Rys. 16 Związek prądu znamionowego bezpieczników i styków wyłącznika RCCB

Dobezpieczenie wyłącznika różnicowoprądowego (RCCB)

Prawidłowo wykonane zabezpieczenie styków przed prądami przepięciowymi oznacza, że stale przepływający prąd nie przekroczy wartości prądu znamionowego, dla którego zostały zaprojektowane.

Wyłącznik różnicowoprądowy (RCCB)	Zabezpieczenie przeciążeniowe		
	I_n	Seria xPole - dla instalacji mieszkalnych i handlowych	Seria xEffect dla zastosowań przemysłowych
	16 A	10 A gG/gL	16 A gG/gL
	25 A	16 A gG/gL	10 A gG/gL
	40 A	10 A gG/gL	40 A gG/gL
	63 A	40 A gG/gL	63 A gG/gL
	80 A	50 A gG/gL	80 A gG/gL
	100 A	63 A gG/gL	80 A gG/gL

Tab. 2 Dobezpieczenie wyłącznika różnicowoprądowego (RCCB) przed przeciążeniem styków

3.6 Selektywność wyłączników RCD

W instalacjach, w których RCD są instalowane szeregowo, ich selektywne wyzwalanie jest wymagane w celu odłączenia tylko tej części instalacji, w której wystąpiła usterka. Selektywność pomiędzy urządzeniami podłączonymi szeregowo może być pełna lub częściowa.

Pełna selektywność między urządzeniami RCD jest gwarantowana, gdy spełnione są oba poniższe warunki:

1. Wyłącznik RCD po stronie zasilania jest typu S
2. RCD po stronie obciążenia ma niższą wartość znamionowego prądu różnicowego niż RCD po stronie zasilania

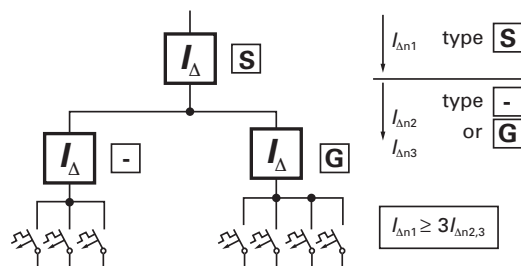
Zasada selektywnej zmiany:

$$I_{\Delta n1 S} \geq 3 \cdot I_{\Delta n2}$$

mając na uwadze, że:

$I_{\Delta n1 S}$... selektywny RCD (typ S),

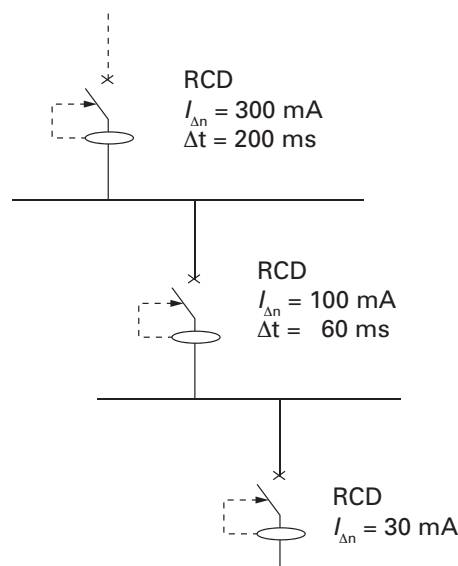
$I_{\Delta n2}$... RCD do zastosowań ogólnych (tj. bez zwłoki lub typu o okresie beczynności 10 ms- typ G lub jego odpowiedniki).



Typy G i S- patrz rozdział 3.7.

Rys. 17 Selektywny dobór RCD z podziałem na dwie sekcje

Warunki pełnej selektywności przedstawione są na Rysunku 17, na podstawie Tabeli 3 z minimalnymi czasami zadziałania. Jeśli w instalacjach przemysłowych z wykwalifikowanym personelem obsługi wymagana jest selektywna klasyfikacja trzech poziomów RCD, można zastosować RCD o regulowanych parametrach (patrz CBR, MRCD).

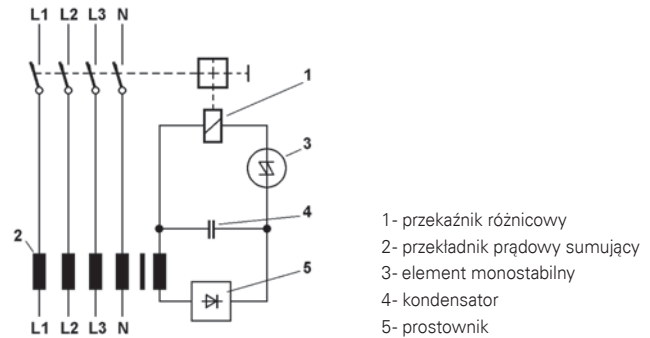


Rys. 18 Selektywny dobór RCD z podziałem na trzy sekcje

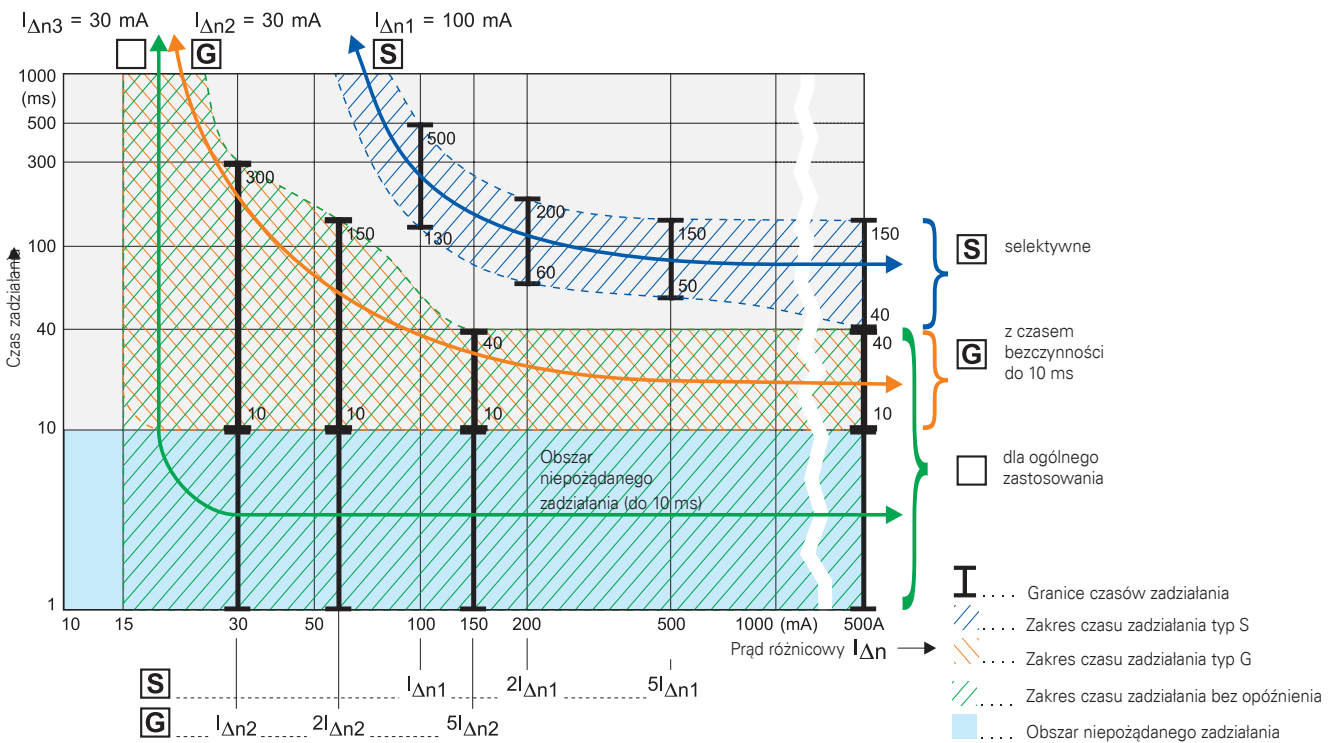
3.7 Opóźnienie- charakterystyki zadziałania □, G, S

Z punktu widzenia reakcji na gwałtownie generowany prąd różnicowy wyłączniki RCD dzielą się na typy bez opóźnienia zadziałania i z opóźnieniem zadziałania (o określonym czasie beczynności). Typy z opóźnionym zadziałaniem wyposażone są w obwód opóźniający, którego zasada działania określona jest na Rysunku 19. Ważnym komponentem jest kondensator, ładowany od napięcia uzwojenia wtórnego przekładnika prądowego sumującego. Krótkie impulsy prądu różnicowego nie zapewniają wystarczającego naładowania kondensatora. Tylko dłuższa obecność prądu różnicowego spowoduje wzrost jego napięcia. W przypadku nadmiaru napięcia roboczego elementu monostabilnego, energia kondensatora zostanie rozładowana do uzwojenia przekaźnika wyzwalającego. Wyłączniki RCD typu G zaprojektowano z myślą o czasie beczynności wynoszącym co najmniej 10 ms, dla typu S czas ten wynosi 40 ms. W ten sposób uzyskuje się wysoką odporność na niepożądane zadziałanie. Kolejną zaletą jest wyzwalanie impulsowe przekaźnika z wystarczającą rezerwą i tym samym wysokim bezpieczeństwem wyzwalania.

Pierwsze typy z opóźnionym zadziałaniem zostały wprowadzone do produkcji seryjnej już w 1958 roku przez firmę Felten&Guilleaume (Eaton). Zasada ta jest stosowana we wszystkich nowoczesnych wyłącznikach RCD zaprojektowanych z myślą o wysokiej odporności na niepożądane wyzwolenie.



Rys. 19 Zasada działania obwodu opóźniającego z kondensatorem (typy G, S)



Rys. 20 Granice czasów zadziałania

Typ wyłącznika RCD		Czasy zadziałania [ms]			
		$I_{\Delta} = I_{\Delta n}$	$I_{\Delta} = 2 I_{\Delta n}$	$I_{\Delta} = 5 I_{\Delta n}$	$I_{\Delta} = 500 A$
□	brak opóźnienia – dla zastosowania ogólnego	≤ 300	≤ 150	≤ 40	≤ 40
G	z opóźnieniem z czasem beczynności min. 10 ms	10- 300	10- 150	10- 40	10- 40
S	selektywne- z czasem beczynności min. 40 ms	130- 500	60- 200	50- 150	40- 150

Tab. 3 Granice czasów zadziałania RCD w badaniach przy zmiennym prądzie różnicowym

RCD do zastosowań ogólnych, bezzwłoczne

- Odporne na prądy udarowe przewodów roboczych do wartości 250 A (8/20 μ s).
- Reaguje również na krótkotrwałe wzrosty prądu.

G RCD z krótkim opóźnieniem i czasem bezczynności wynoszącym co najmniej 10 ms

- Zwiększona odporność na prądy udarowe do 3 kA (8/20 μ s).
- Górna granica czasu zadziałania jest taka sama jak w przypadku RCD ogólnego zastosowania - czułość 30 mA spełnia warunki dodatkowej ochrony.
- Ograniczenie niepożądanego zadziałania wyłączników RCD poprzez krótkotrwałe przepięcia prądowe (koordynacja z zabezpieczeniami przepięciowymi klasy II i III) itp.
- Nie jest on określony w normach IEC, ale bez niego nie można zagwarantować odporności na niepożądane zadziałanie.

S Typ selektywny, RCD z czasem bezczynności co najmniej 40 ms

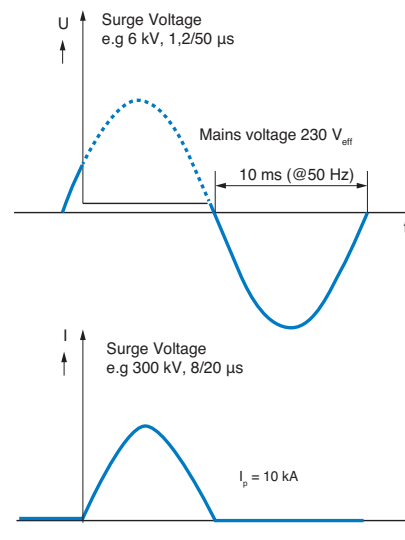
- Wysoka odporność na prąd udarowy do 5 kA (normy IEC wymagają 3 kA).
- Spełnia warunki czasu zadziałania 0,4 lub 0,2 s (automatyczne odłączenie).
- Typ S stosowany jest jako wyłącznik główny lub w połączeniu z zabezpieczeniem przepięciowym klasy II (C).
- Znacznie redukuje niepożądane zadziałania.

Czas bezczynności 10 ms stosowany w typie G odpowiada czasowi trwania połowy fali o częstotliwości sieciowej. Zakłada się, że wpływ napięcia impulsowego ustanie najpóźniej przy najbliższym przejściu napięcia przez zero, patrz [Rysunek 21](#). Rozwiązanie to znacząco podnosi odporność na oddziaływanie krótkotrwałych prądów różnicowych (RCD odporne na przepięcia).

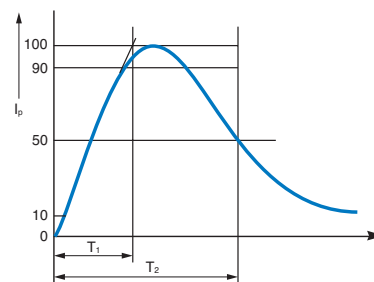
Odporność na prąd przepięciowy o kształcie fali 8/20 μ s określa wartość prądu przepływającego przez przewody robocze, przy której wyłącznik nie może wyzwolić. Ze względu na pewną asymetrię poszczególnych przebiegów sumujących przekładników prądowych może jednak wystąpić zadziałanie wyłącznika, mimo że nie został wytworzony prąd różnicowy. Kształt fali prądu przepięciowego 8/20 μ s przedstawiono [Rys. 22](#), gdzie 100 % $I_p = 250$ A, 3 kA, 5 kA. Ten kształt fali testowej jest jednakowy również dla testu ochrony przeciwprzepięciowej klasy II i III. Dla niektórych typów wyłączników nawiązano do tłumionej fali przepięciowej o częstotliwości 100 kHz, 100/0,5 μ s ([Rys. 23](#)), który uwzględnia przepływ prądów w instalacjach przy opóźnionym przełączaniu obciążenia.

Uwaga:

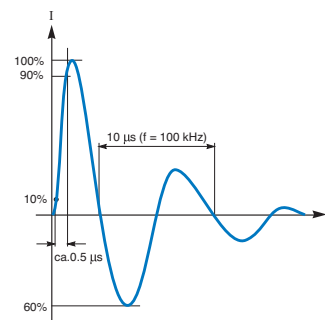
Definicję typu G o czasie bezczynności co najmniej 10 ms wprowadzono w Austrii (obecnie ÖVE E 8601-1) jako rozwiązanie problemów z niepożądanym zadziałaniem wyłączników różnicowoprądowych z powodu przepięcia podczas burz. (skrót od niemieckiego Gewitter = burza). Stworzono kilka typów dla specjalnych zastosowań, na przykład typ R dla obwodów rentgenowskich. Typ G ma takie same ograniczenia czasu zadziałania jak zwykle wyłączniki, dlatego został sklasyfikowany zgodnie z międzynarodowymi normami (IEC, EN) jako część wspólnej grupy wyłączników RCD dla ogólnych zastosowań. Należy zauważyć, że w normach międzynarodowych również użyto symbolu G, ale o innym znaczeniu. Oznacza RCD do zastosowań ogólnych (G=General (ogólne)). Może to spowodować niejasności.



Rys. 21 Odporność na prądy szczytowe typu G przy czasie bezczynności co najmniej 10 ms



Rys. 22 Kształt fali prądu przepięciowego 8/20 μ s do badań odporności RCD na niepożądane zadziałanie



Rys. 23 Kształt znormalizowanej tłumionej fali przepięciowej o częstotliwości 100 kHz, 100/0,5 μ s

Specjalna konstrukcja wyłączników RCD **typu R przeznaczona jest do urządzeń rentgenowskich**. Jest to zmieniona wersja typu G o czasie bezczynności co najmniej 10 ms. Podczas włączania transformatora rentgenowskiego (ekranowanie) występują wysokie prądy szczytowe, które powodują częste zadziałania typowych RCD. Problem niepożądanego zadziałania w obwodach z promieniowaniem rentgenowskim nie może być lekceważony. Jeżeli RCD powoduje odłączenie zasilania rentgenowskiego lub tomografu komputerowego, badanie należy zazwyczaj odłożyć ze względu na niedozwolone narażenie pacjenta na promieniowanie rentgenowskie. Z przeprowadzonych badań wynika, że problem niepożądanego zadziałania całkowicie zniknął przy zastosowaniu typów R.

3.8 Czułość na różne rodzaje prądów różnicowych

Zgodnie z czułością na różne rodzaje prądów różnicowych RCD dzieli się zazwyczaj na typy AC, A i B. Wraz z rosnącymi wymaganiami praktycznymi skala ta jest stopniowo rozszerzana, a typy A i B mają również kilka innych wariantów.

Typ AC jest przeznaczony wyłącznie do stosowania ze zmiennymi prądami różnicowymi. Pulsacyjne składowe prądu stałego (DC) w prądzie różnicowym mogą powodować obniżenie czułości reakcji lub zablokowanie ich funkcji wyzwalania (zgodnie z IEC/EN 61008).

Typ A dla zmiennych i pulsujących prądów stałych, z możliwością wystąpienia niewielkiej wartości gładkiego, stałego prądu różnicowego do 6 mA (zgodnie z IEC/EN 61008, patrz Rys. 25).

Typ F jest specjalnym wariantem typu A o zmienionej charakterystyce częstotliwościowej, uwzględniającym wrażliwość na wysokie częstotliwości. Z tego typu rozwiązaniem można się spotkać dopiero od czasu wprowadzenia normy IEC/EN 62423, ale nie jest to rozwiązanie całkiem nowe. Poprzednikiem jest **typ U**, który został wprowadzony na rynek wiele lat temu, kiedy definicja właściwości typu F nie była jeszcze dostępna.

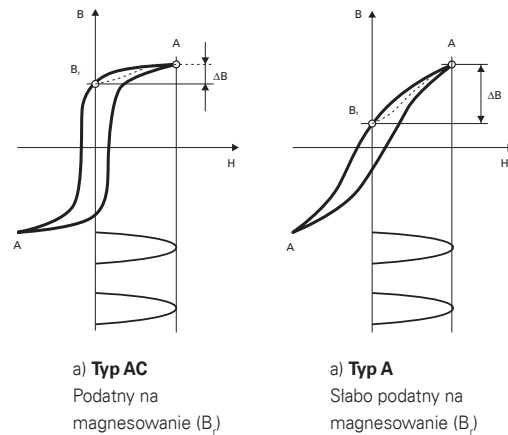
Typ B dla wszystkich rodzajów prądu różnicowego, tj. zmiennego, pulsującego i wyprostowanego prądu różnicowego (IEC/EN 62423). Wyprostowane prądy różnicowe mogą występować w instalacjach komercyjnych i przemysłowych (i/lub nawet w instalacjach mieszkalnych), w których stosowane są przemienniki częstotliwości, fotowoltaiczne elektrownie i urządzenia z półprzewodnikowymi elementami zasilającymi (prostowniki).

Typ Bfq to specjalny typ B firmy Eaton z dostosowaną krzywą wyzwalania do 20 kHz dla wszystkich rodzajów prądu różnicowego. Są one odporne na zadziałanie z powodu wystąpienia prądów upływu w obwodach z mocnymi przetwornicami częstotliwości (zgodnie z IEC/EN 62423).

Typ B+ dla wszystkich rodzajów prądu różnicowego z dodatkowo zmienionymi charakterystykami wyzwalania zgodnie z wymaganiami ochrony przeciwpożarowej, z różnicowym prądem wyłączenia do 420 mA, dla częstotliwości do 20 kHz

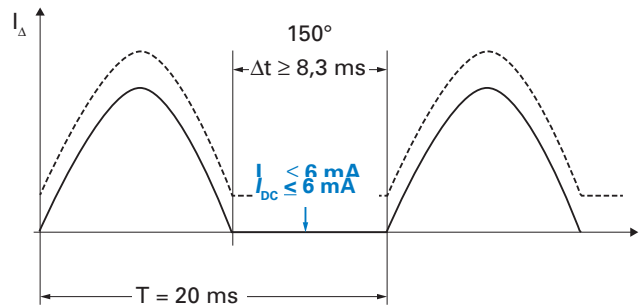
(wymagania dla elektrowni fotowoltaicznych). Wersja ta spełnia wymagania ochrony przeciwpożarowej zgodnie z niemieckimi normami VDE 0664-440, które są wymagane przez Niemiecki Związek Towarzystw Ubezpieczeniowych i trafia na nasz rynek wraz z projektami pierwotnie proponowanymi dla Niemiec.

Podstawową różnicą pomiędzy typami AC i A jest rodzaj materiału, z jakiego wykonany jest rdzeń przekładnika prądowego.



B- indukcja magnetyczna [T]
H – siła magnetycznomotoryczna [Am⁻¹]
A- punkt pracy dla prądu przemiennego

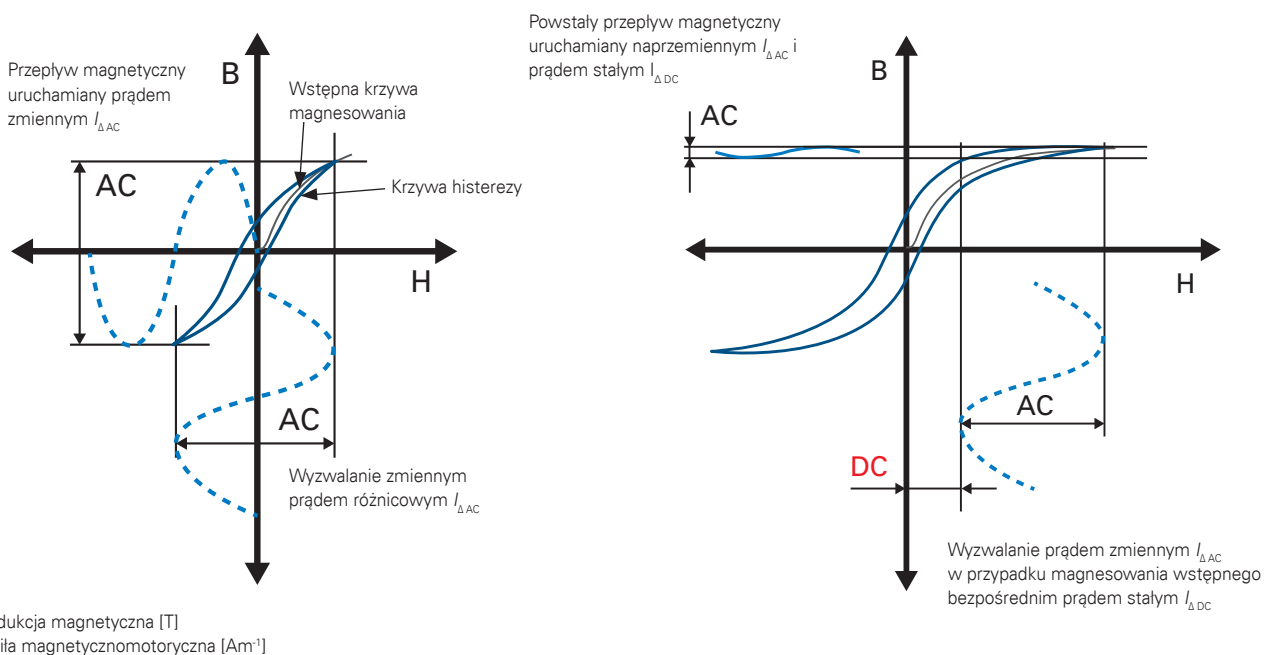
Rys. 24 Histereza magnesowania rdzeni wyłączników typu AC i A



Rys. 25 Definicja stałej składowej pulsującego prądu (6 mA dla typu A)

Typ wyłącznika RCD	Symbole	Czułość na prąd różnicowy	Właściwości	Normy i przepisy
AC		Prąd przemienny	Sinusoidalny prąd przemienny o częstotliwości znamionowej	IEC / EN 61008 IEC / EN 61009
A		Prąd stały zmienny i pulsujący	Sinusoidalny prąd przemienny i pulsujący prąd stały do 6 mA	IEC / EN 61008 IEC / EN 61009
F		Prąd zmienny i pulsujący DC	Sinusoidalny prąd przemienny i pulsujący prąd stały do 10 mA	IEC / EN 62423
B		Prąd zmienny i pulsujący DC oraz prąd wygładzony DC	Wszystkie rodzaje prądu o częstotliwości do 1 kHz	IEC / TR 60755 IEC / EN 62423
Bfq		Prąd zmienny i pulsujący DC oraz wygładzony DC	Specjalny typ B firmy Eaton z dostosowaną krzywą wyzwalania do 20 kHz	IEC / EN 62423
B+		Prąd zmienny i pulsujący DC oraz wygładzony DC	Wszystkie rodzaje prądu o częstotliwości do 20 kHz	VDE 0664-440

Zakładka 4: Rodzaje RCD według czułości na rodzaje prądu

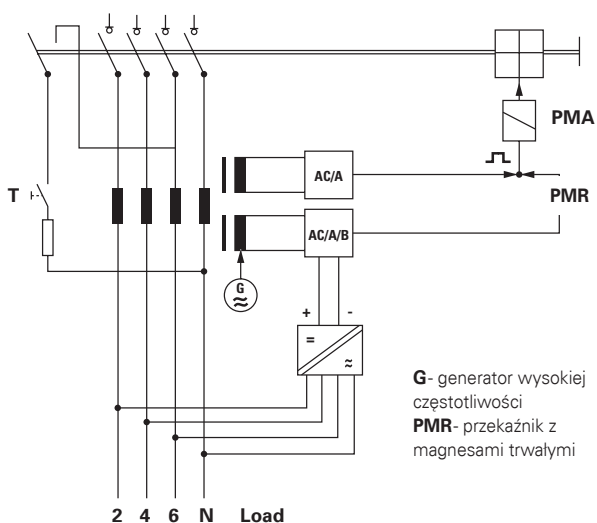


Rys. 26 Wpływ stałego prądu różnicowego na namagnesowanie rdzenia przekładnika prądowego typu A

W przypadku wystąpienia gładkiego prądu stałego, materiał magnetyczny przekładnika prądowego nasycy się i jest niewrażliwy na dalsze prądy różnicowe. RCD zostaje „oślepiony” i tym samym jego funkcja ochronna jest pogorszona. Stan ten opisano na Rysunku 26. W związku z tym typ B wyłącznika RCD staje się coraz bardziej popularny, ponieważ może niezawodnie wyzwalac przy wszystkich formach prądu różnicowego w zakresach częstotliwości, dla których został zaprojektowany (patrz Tab. 4).

Rozwiązanie konstrukcyjne typu B różni się od typów AC i A wyłącznika RCD, patrz Rysunek 27. Ich podstawowym podzespołem jest specjalny przekładnik prądowy sumujący,

uruchamiany generatorem wysokiej częstotliwości. W ten sposób powstaje precyzyjnie zdefiniowany strumień magnetyczny. Zmiana prądu różnicowego powoduje zmianę natężenia pola magnetycznego, co z kolei powoduje zmianę napięcia wtórnego przekładnika prądowego. Jeśli zmiana jest znacząca, elektroniczny obwód analizujący da impuls do zadziałania. RCD typu B są zależne od napięcia w wykrywaniu różnicowych prądów wygładzonych DC, a w wykrywaniu prądów zmiennych i pulsujących prądów stałych są zaprojektowane jako niezależne od napięcia.



Rys. 27 Zasada podłączenia wyłącznika RCD typu B

Residual current form	Area of application by type				Tripping current
	AC	A	F	B / B+ kHz	
	•	•	•	•	0.5 to 1.0 $I_{\Delta n}$
		•	•	•	0.35 to 1.4 $I_{\Delta n}$
		•	•	•	Contact angle 90°: 0.25 to 1.4 $I_{\Delta n}$ Contact angle 135°: 0.11 to 1.4 $I_{\Delta n}$
		•	•	•	max. 1.4 $I_{\Delta n}$ + 6 mA DC ¹⁾
			•	•	0.5 to 1.4 $I_{\Delta n}$
				•	0.5 to 2.0 $I_{\Delta n}$

¹⁾ Może to być komponent DC: Typ A maks. 6 mA, Typ F maks. 10 mA

Tab. 5 Granice prądów wyłączających dla typów i przebiegów prądów różnicowych, patrz również Tab. 7

3.9 Warunki pracy

Warunki pracy różnią się w zależności od rodzaju instalacji. Normalne warunki środowiskowe w instalacjach gospodarstw domowych i podobnych (typu RCCB i RCBO) są uważane za podstawowe warunki eksploatacyjne:

- temperatura otoczenia sięgająca -5 °C lub -25 °C do +40 °C
- wysokość do 2 000 m (70- 106 kPa), a nawet większa, w zależności od warunków producenta
- wilgotność względna do 50% przy 40 °C; wyższa wilgotność jest dopuszczalna przy niższych temperaturach;
- zewnętrzne pole magnetyczne do 5 razy większe od pola magnetycznego uziemienia w obu kierunkach
- pozycja określona jest przez producenta;
- częstotliwość jest określona przez producenta z tolerancją $\pm 5\%$;
- stopień zanieczyszczenia 2 (tj. zanieczyszczenia pyłem nieprzewodzącym). W instalacjach przemysłowych spodziewany jest wyższy stopień zanieczyszczenia (do 3 stopnia- możliwa obecność pyłu częściowo przewodzącego), wyższa wilgotność i potencjalnie wyższe pole magnetyczne.

3.9.1 Temperatura otoczenia

W instalacjach wewnętrznych zakres temperatur otoczenia od -5 °C do +40 °C jest zwykle uznawany za wystarczający. Ten zakres roboczy nie jest określony żadnym oznaczeniem na produkcie. Średnia temperatura w ciągu dnia nie powinna przekraczać +35 °C. Do bardziej wymagających zastosowań należy jednak stosować bardziej odporne typy w zakresie od -25 do 40 °C; typy te są następnie specjalnie oznaczone Rys. 28. Wszystkie typy dostarczane przez firmę Eaton są przeznaczone do pracy w temperaturach od -25 °C.



Rys. 28 Identyfikacja wyłączników różnicowoprądowych dla temperatury otoczenia w zakresie -25 °C.

Jeżeli RCD przeznaczone są do pracy w temperaturach poniżej -5 °C, dopuszczalna jest wyższa wartość prądu wyłączającego ($1,25 I_{\Delta n}$). Określono również wymóg obniżenia impedancji uziemiającej do 80 %, który jest brany pod uwagę w sieciach TT i IT.

Temperatura	Prąd znamionowy				
	25 A	40 A	63 A	80 A	100 A
40 °C	25	40	63	80	100
45 °C	22	37	59	76	95
50 °C	19	34	55	72	90
55 °C	16	31	50	68	85
60 °C	–	27	45	64	80

Tab. 6 Wpływ temperatury otoczenia na prąd znamionowy (na przykład dla serii FRCmM)

W instalacjach o temperaturach powyżej +40 °C należy uwzględnić krzywą obciążenia wyłącznika RCD. Zależność tę określa producent w dokumentacji katalogowej.

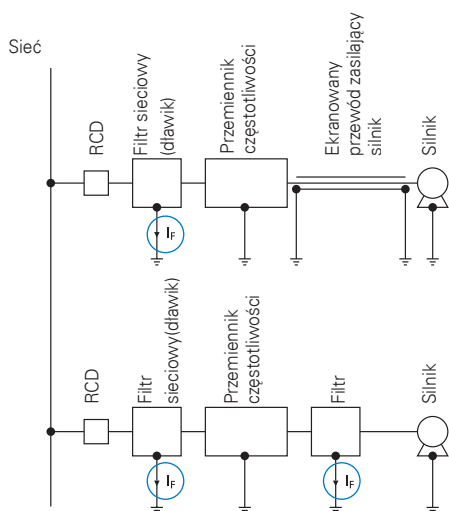
3.9.2 Napięcie znamionowe

Napięcie znamionowe wyłącznika RCD określa napięcie, dla którego przeznaczony jest wyłącznik. Dla zakresu napięć od 0,85 do $1,1U_n$ zapewnione jest zabezpieczenie obwodów jednofazowych. W przypadku wyłączników RCD, funkcjonalnie zależnych od napięcia zasilania, elementem rozstrzygającym jest rezystancja w obwodzie testowym urządzenia testującego. Jeżeli RCD jest stosowany w obwodach o napięciu niższym od napięcia znamionowego, należy zastosować zewnętrzny obwód testowy, przeznaczony do obniżonego napięcia.

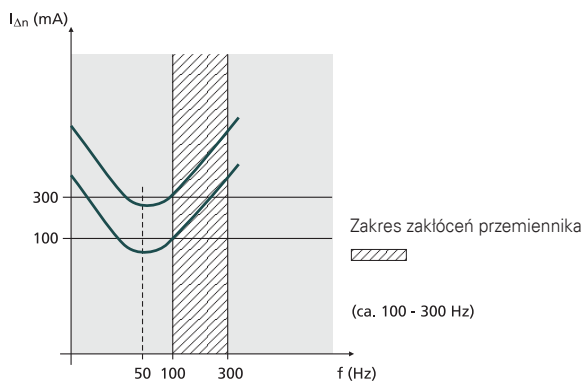
Jednocześnie prąd testowy nie powinien przekraczać wartości $2,5 I_{\Delta n}$. Większość wyłączników RCD w Europie jest przystosowana do napięcia 230/400 V, a wersja 110 V jest dostępna na rynku amerykańskim. Zasilane napięciem RCD mają swoje napięcie znamionowe zależne od konstrukcji obwodów elektronicznych.

3.10 Obwody o zmiennej częstotliwości

W przypadku RCD typu AC i A podaje się tylko znamionową częstotliwość sieci zasilającej (zazwyczaj 50 Hz). W silnikach asynchronicznych do zmiany prędkości obrotowej stosowane są przemienniki częstotliwości, a do tych zastosowań przeznaczone są typy o zmienionych charakterystykach częstotliwości (U, F, Bf_q). W celu spełnienia wymagań kompatybilności elektromagnetycznej (EMC), instalowane są filtry interferencyjne (dławiki), a w przypadku zastosowania RCD dla ochrony, zwykle wyzwalają one w niepożądanych sytuacjach. Powodem tego jest zwiększenie prądu upływowego filtrów interferencyjnych (dławików) i ich pojemności własnej, który wzrasta wraz z częstotliwością (patrz Rys. 29).



Rys. 29 Występowanie prądu upływu I_f przy zastosowaniu przemienników częstotliwości



Rys. 30 Charakterystyka częstotliwościowa RCD typu U

Częstotliwość [Hz] ¹⁾	Znamionowy prąd niewyzwalający ¹⁾	Znamionowy prąd wyzwalający ^{1) 2)}
100	$0,5 I_{\Delta n}$	$I_{\Delta n}$
1000	$I_{\Delta n}$	$11 I_{\Delta n}^{3)}$
2000	$1,5 I_{\Delta n}$	$20 I_{\Delta n}^{3)}$

- 1) Dla znamionowego prądu niewyzwalającego wyłącznika i znamionowego prądu wyzwalającego wyłącznik o wyższych częstotliwościach, do 20 kHz, producent musi określić krzywą graniczną.
 - 2) Dotyczy to maksymalnej dopuszczalnej rezystencji uziemienia. W przypadku innych rezystancji uziemających określonych przez producenta, odpowiednio zmniejsza się górną granicę prądu zadziałania. Wartości te obowiązują przy częstotliwości 50/60 Hz i maksymalnym napięciu dotykowym 50 V.
 - 3) Stosowany jest współczynnik 0,8, który odzwierciedla wartości graniczne oddziaływania prądu przemiennego zgodnie z IEC/TC 60479-1 (patrz Rys. 7, krzywa c1) i odnosi się do współczynnika częstotliwości podanego w IEC/TC 60479-2.
- Uwaga: Raport techniczny IEC/TC 60479-2 określa granice częstotliwości do 1 kHz. Zasięg do 2 kHz uzyskuje się przez ekstrapolację.

W przypadku stosowania przetworników częstotliwości należy stosować wyłącznie wyłączniki RCD, które zostały w tym celu zaprojektowane i przetestowane. W przypadku obwodów jednofazowych, typ U lub nowszej wersji typ F, w przypadku obwodów trójfazowych należy stosować określony typ B

Zachowaj ostrożność! Nie należy mylić typu F lub typu U z właściwościami typu B!

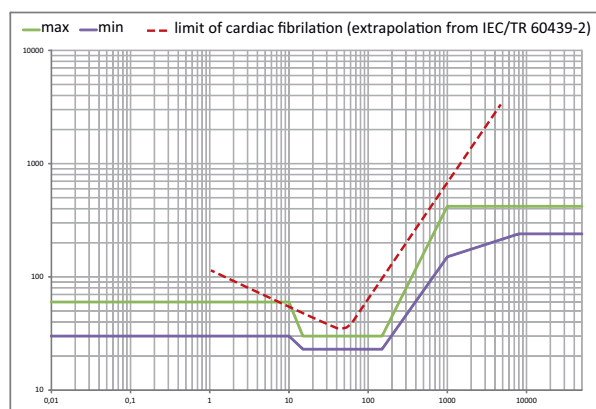
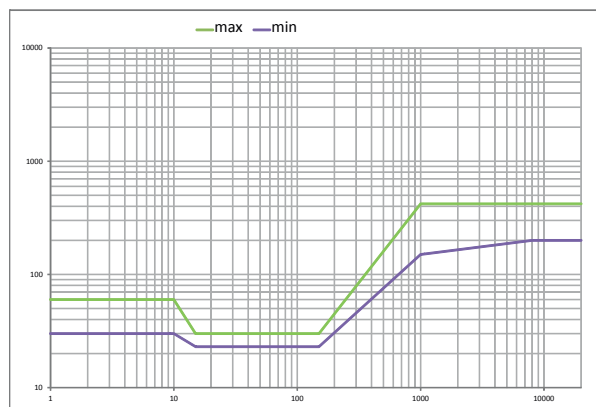


Fig. 31 Przykład charakterystyk częstotliwości wyzwalania wyłącznika RCD typu Bf_q o czułości $I_{\Delta n} = 30 \text{ mA}$ [7]



Rys. 32 Charakterystyka częstotliwościowa RCD typu B+ o czułości 30 mA [7]

3.11 Znakowanie

Oznakowanie musi spełniać wymogi odpowiedniej normy produktu. W przypadku małych urządzeń, po zainstalowaniu urządzenia muszą być widoczne przynajmniej następujące informacje:

- Prąd znamionowy
- Znamionowy prąd różnicowy
- Dla selektywnych typów: Symbol S w kwadratowej ramce
- Symbol typu A, F lub B

Informacje podane z boku lub z tyłu, które mogą być widoczne przed instalacją:

- Producent (nazwa lub marka)
- Symbol typu, numer katalogowy lub seryjny
- Napięcie znamionowe
- Częstotliwość znamionowa, pod warunkiem że wyłącznik jest zaprojektowany dla częstotliwości innej niż 50 Hz
- Pozycja montażu- w razie potrzeby
- Oznaczenie dla typów zależnych od napięcia
- Typ AC
- Temperatura otoczenia dla -25 °C
- Oznaczenie zacisku przewodu neutralnego N
- Dodatkowe oznakowanie (zgodnie z wymaganiami innych norm).

Wyłącznik kombinowany RCBO



- 1 napięcie znamionowe
- 2 typ AC
- 3 możliwość stosowania w temperaturach otoczenia do- 25 °C
- 4 znamionowy prąd różnicowy
- 5 charakterystyka zadziałania i prąd znamionowy wbudowanego wyłącznika
- 6 możliwości zadziałania wbudowanego wyłącznika
- 7 znaczniki stanu urządzenia (I = włączony; O = wyłączony)
- 8 możliwości zadziałania wyłącznika zintegrowanego i jego graniczna klasa energetyczna (3)
- 9 oznaczenie typu producenta

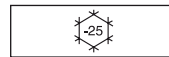
Rys. 33 Przykład nadruku na wyłącznikach kombinowanych RCBO

Wyłącznik różnicowoprądowy (RCCB)



- 1 wskazanie poziomu prądu różnicowego
- 2 napięcie znamionowe
- 3 znamionowa zwarceniowa zdolność łączenia
- 4 znamionowy różnicowy prąd roboczy
- 5 prąd znamionowy RCCB
- 6 czułość na pulsujące prądy stałe typu A
- 7 temperatura pracy do- 25 °C
- 8 oznaczenie typu producenta

Rys. 34 Przykład nadruku na urządzeniach różnicowoprądowych RCCB



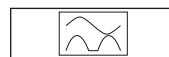
Standard firmy Eaton. Przeznaczone do montażu na zewnątrz (puszki rozdzielcze do montażu na zewnątrz i na placach budowy) do- 25° C.



Warunkowo odporne na przepięcia (>250 A, 8/20 µs) do ogólnego zastosowania.



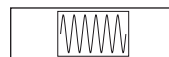
Typ AC: Wyłącznik RCD czuły na prąd zmienny



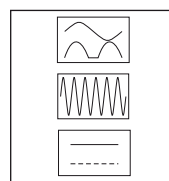
Typ A: Wyłącznik RCD czuły na pulsacyjny prąd stały



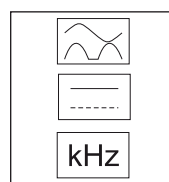
Zakres częstotliwości do 20 kHz



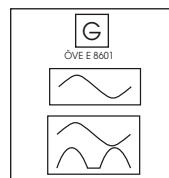
Wyzwalanie również w układzie częstotliwościowym (10 Hz, 50 Hz, 1000 Hz)



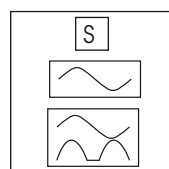
Typ B: Wyłączniki RCD wrażliwe na wszystkie rodzaje prądu, do zastosowań, w których mogą występować prądy różnicowe prądu stałego. Nieselektywne, bezzwłoczne. Zabezpieczenie przed wszelkiego rodzaju prądami uszkodzeniowymi.



Typ B+: Wyłączniki RCD wrażliwe na wszystkie rodzaje prądu, do zastosowań, w których mogą występować prądy różnicowe prądu stałego. Nieselektywne, bezzwłoczne. Zabezpieczenie przed wszelkiego rodzaju prądami uszkodzeniowymi. Spełnia również wymagania normy VDE 0664-400, a tym samym zapewnia zwiększone bezpieczeństwo pożarowe.



RCD typu G (opóźnienie min. 10 ms) odporny na przepięcia do 3 kA. Dla elementów instalacji, w których ochrona przed niepożądanym zadziałaniem jest konieczna dla uniknięcia obrażeń ciała i szkód materialnych (§ 12.1.6 normy ÖVE/ÖNORM E 8001-1). Również dla systemów o długich liniach i dużej pojemności. Niektóre wersje są wrażliwe na pulsujące prądy stałe. Niektóre wersje są dostępne w wersji wrażliwej na wszystkie prądy.



RCD typu S (selektywne, opóźnienie min. 40 ms) odporny na przepięcia do 5 kA. Głównie używany jako wyłącznik główny, jak również w połączeniu z ogranicznikami przepięć. Jest to jedyny RCD nadający się do połączenia szeregowego z innymi typami, jeżeli znamionowy prąd wyzwalający RCD nie przekracza jednej trzeciej znamionowego prądu wyzwalającego urządzenia typu S. Niektóre wersje są wrażliwe na pulsacyjny prąd stały. Niektóre wersje są dostępne w wersji wrażliwej na wszystkie prądy.



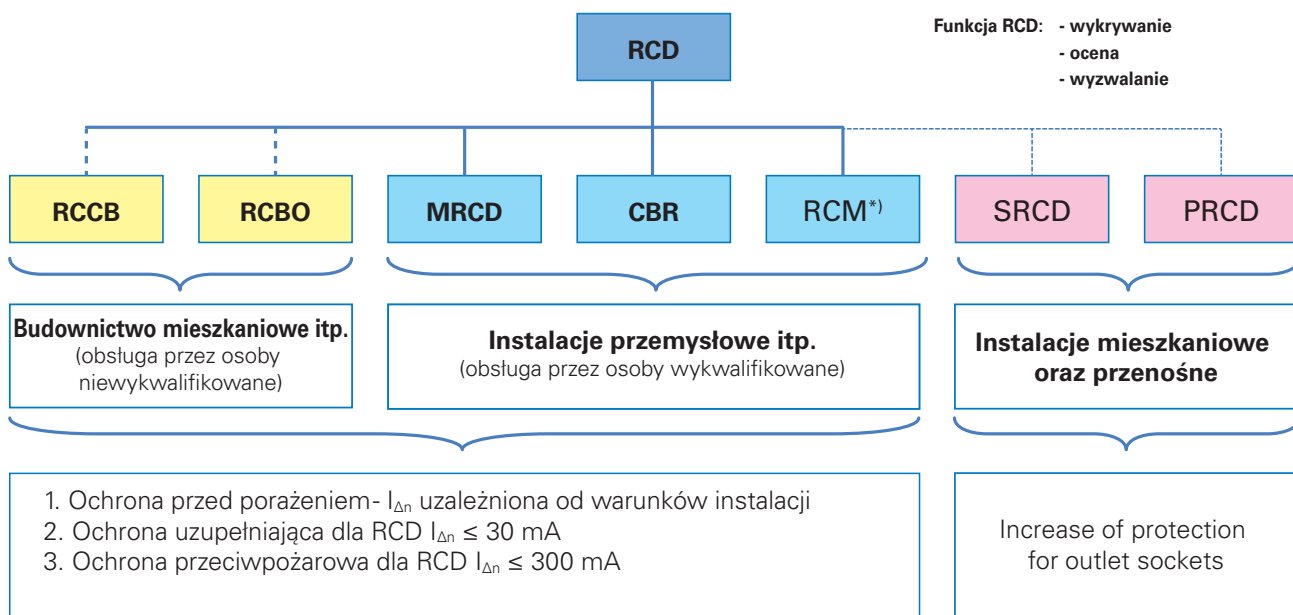
„Zabezpieczenie przed promieniowaniem rentgenowskim”, w celu uniknięcia niepożądanego zadziałania urządzeń rentgenowskich (typ R).



„Odporne na działanie przetwornika częstotliwości” (typ U), w celu uniknięcia niepożądanego zadziałania spowodowanego przez przetwornik częstotliwości, napędy z regulacją prędkości obrotowej itp.

Tab. 8 Typowe kombinacje symboli na wyłącznikach RCD

3.12 Projektowanie wyłączników RCD



*) RCM detakcja i sygnalizacja, ale brak wyzwolenia; nieużyteczny z punktu widzenia ochrony

Skrócona nazwa	Międzynarodowa nazwa	Normy przedmiotowe
RCD	Wyłącznik różnicowoprądowy	IEC 60755 Wymagania ogólne dotyczące urządzeń ochronnych różnicowoprądowych
Wyłącznik różnicowoprądowy (RCCB)	Wyłączniki różnicowoprądowe bez wbudowanego zabezpieczenia nadprądowego do użytku domowego i podobnych zastosowań	IEC/EN 62423 ed. 2 Wyłączniki różnicowoprądowe typu F i B z wbudowanym zabezpieczeniem nadprądowym lub bez wbudowanego zabezpieczenia nadprądowego do użytku domowego i tego typu zastosowań EN 61008 - Wyłączniki różnicowoprądowe bez wbudowanego zabezpieczenia nadprądowego do użytku domowego i podobnych zastosowań (RCCB) - Część 1: Ogólne zasady (General rules)
Wyłącznik kombinowany RCBO	Wyłączniki różnicowoprądowe z wbudowanym zabezpieczeniem nadprądowym do użytku domowego i podobnych zastosowań	IEC/EN 61009 - Wyłączniki różnicowoprądowe z wbudowanym zabezpieczeniem nadprądowym do użytku domowego i podobnych zastosowań (RCBO) - Część 1: Ogólne zasady (General rules)
RCM	Monitory różnicowoprądowe do użytku domowego i podobnych zastosowań	IEC/EN 62020 - Urządzenia monitorujące różnicowoprądowe do użytku domowego i podobnych zastosowań
MRCD	Modułowe urządzenia różnicowoprądowe z przekładnikiem	IEC/EN 60947-2, Aparatura rozdzielcza i sterownicza niskonapięciowa - Część 2 Wyłączniki - Załącznik M
CBR	Wyłącznik kompaktowy z wbudowanym urządzeniem różnicowoprądowym	IEC/EN 60947-2, Aparatura rozdzielcza i sterownicza niskonapięciowa - Część 2 Wyłączniki, Załącznik B
PRCD	Przenośne urządzenie różnicowoprądowe	IEC 61540 – Przenośny prąd różnicowy Urządzenie bez wbudowanego zabezpieczenia nadprądowego do użytku domowego i podobnych zastosowań (PRCD)
SRCD	Stałe gniazdo z wbudowanym wyłącznikiem różnicowoprądowym	IEC 62640 - Urządzenia różnicowoprądowe z zabezpieczeniem nadprądowym lub bez dla gniazdek do użytku domowego i podobnych zastosowań

Tab. 9 Skróty używane w odniesieniu do wyłączników RCD

Wybór ze względu na dostęp do instalacji

W instalacjach, w których wyłączniki RCD są dostępne dla laików (BA1), dzieci (BA2) lub osób niepełnosprawnych (BA3), RCD do użytku domowego i podobnych zastosowań o stałych parametrach, tj. RCCB i RCBO (IEC/EN 61008, IEC/EN 61009, IEC/EN 62423).

W instalacjach alternatywnych, w których dostęp do RCD mają wyłącznie osoby przeszkolone (BA4) lub znane (BA5), można stosować również RCD o regulowanych parametrach - CBR i MRCD (IEC/EN 60947-2).

3.12.1. Urządzenia różnicowoprądowe

Jeśli chodzi tylko o funkcję ochronną, to używany jest ogólny termin RCD - Residual Current Device (Urządzenia różnicowoprądowe). Tylko w przypadku, gdy należy scharakteryzować szczególne właściwości lub sposób montażu, stosuje się bardziej precyzyjne określenie.

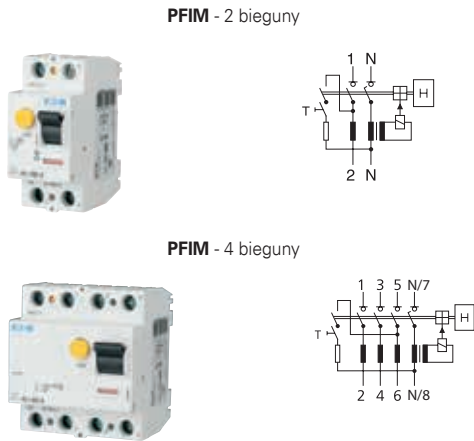
Definicja określona w normach produktu:

„Wyłącznik różnicowoprądowy jest mechanicznym urządzeniem przełączającym lub zbiorem urządzeń przeznaczonych do wytwarzania, przewodzenia i przerywania prądów w normalnych warunkach pracy oraz do powodowania rozwarcia styków, gdy prąd różnicowy osiągnie określoną wartość w określonych warunkach.”

W ten sposób wyłącznik różnicowoprądowy może być zaprojektowany jako urządzenie kompaktowe w jednej obudowie lub jako zestaw różnych niezależnych urządzeń (przekładnik prądowy sumujący + przekaźnik zabezpieczający + stycznik/wyłącznik), spełniających wymaganą funkcję dopiero po wspólnym podłączeniu. Normy dotyczące produktów, mające zastosowanie do różnych typów RCD, określają minimalne wymagania w zakresie projektu i cech. Konstrukcja nowych typów RCD oferuje, oprócz zapewnienia bezpieczeństwa, dodatkowe funkcje, które zwiększają niezawodność, funkcjonalność i oferują wyższy poziom komfortu.

3.12.2 Wyłączniki różnicowoprądowe (RCCB)

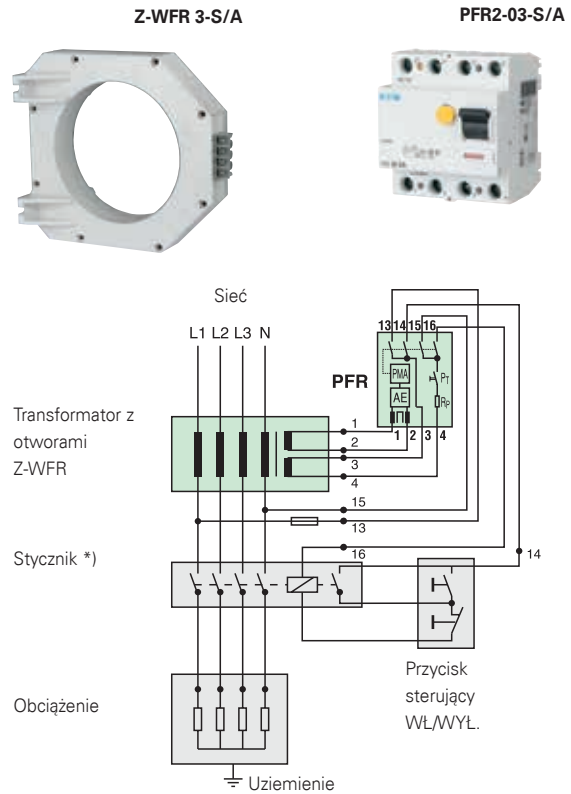
Wyłączniki różnicowoprądowe są najczęściej stosowanymi typami (RCCB- Residual Current Circuit Breakers- wyłączniki różnicowoprądowe).



Rys. 35 RCCB bez zabezpieczenia przeciążeniowego, kompaktowe urządzenie do montażu na szynie DIN

Ich właściwości określa podstawowy zestaw norm IEC 61008 - Wyłączniki różnicowoprądowe bez wbudowanego zabezpieczenia przeciążeniowego do użytku domowego i podobnych zastosowań (RCCB). Część 1 definiuje ogólne zasady, część IEC/EN 61008-2-1 określa wymagania dla typów niezależnych od napięcia, a część IEC 61008-2-2 stanowi dodatek dla typów zależnych od napięcia. Warunkiem jest zapewnienie zabezpieczenia (prąd przeciążeniowy i zwarciowy).

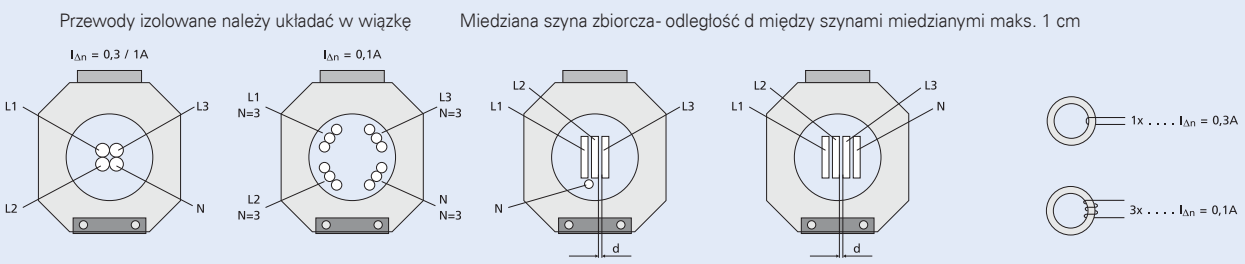
Innym możliwym rozwiązaniem są wyłączniki RCD z wyzwalaczem pośrednim, gdzie poszczególne komponenty (przekładnik prądowy sumujący, przekaźnik wyłącznikowy, przełącznik) są instalowane oddzielnie i połączone ze sobą tylko w miejscu instalacji. W przypadku RCD o znamionowym prądzie różnicowym powyżej 0,3 A do testów wykorzystuje się uzwojenie pomocnicze, które uruchamia się przyciskiem kontrolnym i rezystorem bezpośrednio z sieci.



Rys. 36 RCCB z przełączaniem pośrednim z transformatorem do 400 A, połączenie z pilotem zdalnego sterowania

Schemat połączeń

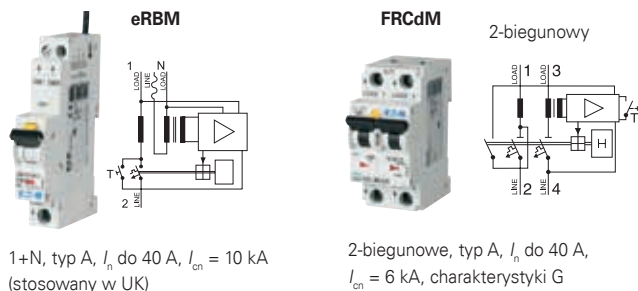
Wszystkie przewody niezbędne do pracy L1, L2 i L3 wraz z przewodem neutralnym N (jeśli jest to konieczne do pracy) muszą przechodzić przez przekładnik z otworem:



Rys. 37 Symetryczne rozmieszczenie przewodów pod napięciem

3.12.3 Wyłączniki różnicowoprądowe z zabezpieczeniem przeciążeniowym (RCBO)

Wyłączniki różnicowoprądowe ze zintegrowanym zabezpieczeniem przeciążeniowym są najczęściej projektowane jako urządzenia kompaktowe, łączące w sobie funkcję urządzenia RCD i wyłącznika różnicowoprądowego. Wyłącznik zabezpiecza instalację i styki mechanizmu przełączającego przed przeciążeniami. Wymagania dotyczące konstrukcji i badań są określone w zestawie norm IEC/EN 61009: Wyłączniki różnicowoprądowe z wbudowanym zabezpieczeniem przeciążeniowym do użytku domowego i podobnych zastosowań (RCBO).



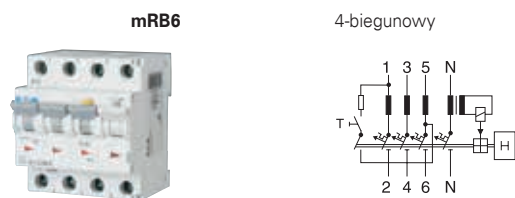
1+N, typ A, I_n do 40 A, $I_{cn} = 10$ kA (stosowany w UK)

2-biegunowe, typ A, I_n do 40 A, $I_{cn} = 6$ kA, charakterystyki G



typ A, I_n do 40 A, $I_{cn} = 10$ kA (stosowany w Norwegii)

3-biegunowy

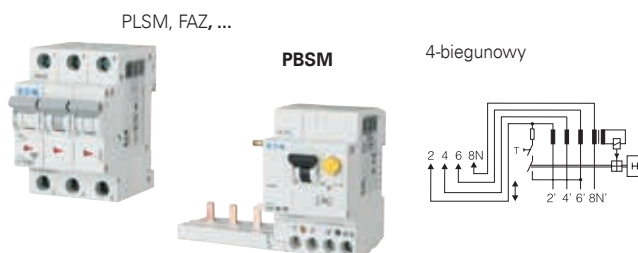


typ A, I_n do 32 A, $I_{cn} = 6$ kA

4-biegunowy

Rys. 38 Wyłączniki różnicowoprądowe z wbudowanym zabezpieczeniem przeciążeniowym (RCBO)

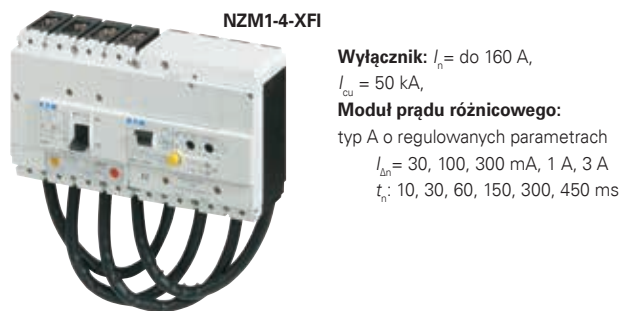
Oddzielną grupą połączonych RCBO są urządzenia składające się z wyłącznika i przekaźnika do wykrywania prądu różnicowego. Łatwo jest połączyć wyłącznik z przekaźnikiem do wykrywania prądu różnicowego, ale demontaż jest trudniejszy, ponieważ wymiana wyłącznika jest możliwa tylko w przypadku uszkodzenia mechanicznego - np. przez złamanie specjalnych śrub przeznaczonych do jednego połączenia obu urządzeń.



Rys. 39Przekaźnik do wykrywania prądu różnicowego PBSD zamontowany dodatkowo do wyłącznika („dodatkowy blok”)

3.12.4 Wyłącznik kompaktowy z wbudowanym zabezpieczeniem różnicowo-prądowym (CBR)

W przypadku wyższych prądów znamionowych stosuje się kombinację wyłącznika o wyższej wydajności z zabezpieczeniem różnicowo-prądowym (CBR), tj. po podłączeniu urządzenia te stają się jednym. Warunki konstrukcyjne i właściwości są określone w normie IEC/EN 60947-2 Wyłączniki, Załącznik B, ze szczegółowymi wymaganiami dla urządzeń o wyższych prądach różnicowych, gdzie norma IEC/EN 61009 nie może być w pełni zastosowana.



Wyłącznik: $I_n =$ do 160 A, $I_{cu} = 50$ kA,
Moduł prądu różnicowego:
typ A o regulowanych parametrach
 $I_{\Delta n} = 30, 100, 300$ mA, 1 A, 3 A
 $t_n: 10, 30, 60, 150, 300, 450$ ms

Rys. 40 Wyłącznik z zabezpieczeniem różnicowoprądowym (CRB) z ustawieniem wielostopniowym, typ NZM1-XFI30R

W porównaniu z typowymi RCD do użytku domowego, dla CBR zdefiniowano różne wymagania. Jedną z różnic jest opóźnienie, gdzie preferowane wartości nieaktywności można wybrać spośród poniższych wartości: 0,06 s - 0,1 s - 0,2 s - 0,3 s - 0,4 s - 0,5 s - 1 s. Są one weryfikowane przy $2 \cdot I_{\Delta n}$ i czasy zadziałania nie mogą przekraczać wartości określonych dla typu S, przedstawionych w Tabeli 3. Oznaczenie „S” może być stosowane do identyfikacji charakterystyk wyzwalania, podczas gdy najkrótszy możliwy czas bezczynności jest wydłużony do 60 ms od zwykłego czasu 40 ms.

CBR mają możliwość pracy z wieloma parametrami (znamionowy prąd różnicowy, opóźnienie), dlatego mogą być stosowane tylko wtedy, gdy są obsługiwane przez wykwalifikowany personel. Nie wolno ich instalować w instalacjach mieszkalnych lub tym podobnych zastosowaniach.

Oddzielną grupę CBR stanowią wyłączniki powietrzne o prądzie znamionowym do $I_n = 6300$ A, które mogą być wyposażone w wyzwalacze do ochrony przed zwarciem doziemnym o czułości od kilkudziesięciu do kilkuset amperów. Mogą one również być obsługiwane tylko za pomocą alarmu, bez wyłączenia.

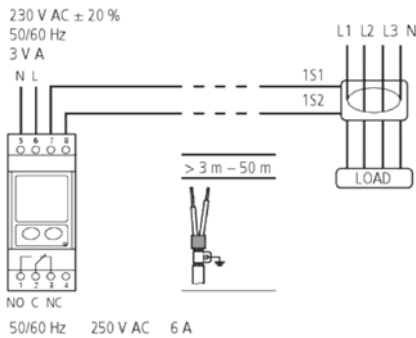


Typ NZMH2-A250-FIA30
Wyłącznik: $I_n =$ do 250 A, $I_{cu} = 150$ kA,
Przekaźnik do wykrywania prądu różnicowoprądowego: typ B dla urządzeń spawalniczych (do 100 kHz)
 $I_{\Delta n} = 30$ do 300 mA
czas bezczynności $t_n: 10, 30, 60, 150, 300, 450$ ms

Fig. 41 Wyłączniki z zabezpieczeniem różnicowo-prądowym do zastosowań przemysłowych (CBR)

3.12.5 Modułowe wyłączniki różnicowoprądowe (MRCD)

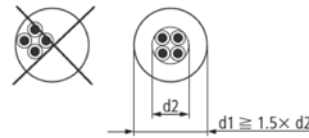
Modułowe wyłączniki różnicowoprądowe nie posiadają dedykowanego systemu styków. Takim układem styków może być wyłącznik, przelącznik lub stycznik. Wymagania projektowe i testowe opisane są w normie IEC/EN 60947-2, Załącznik M, przyjmującej i rozszerzającej warunki określone w dodatku B do tej samej normy (Wyłączniki ze zintegrowanym zabezpieczeniem różnicowoprądowym - CBR). Urządzenia takie mogą być obsługiwane wyłącznie pod nadzorem osób przeszkolonych lub wykwalifikowanych, dzięki czemu mogą być stosowane głównie w zastosowaniach przemysłowych.



- prądy znamionowe przekładników do 1800 A,
- regulowana czułość od 30 mA do 3 A,
- regulowany czas bezczynności 20 ms do 5 s

Rys. 42 Modułowy wyłącznik różnicowoprądowy (MRCB)

Rysunek 43 pokazuje ostrzeżenie producenta o konieczności uzyskania możliwie najlepszej symetrii przewodów roboczych w przekładniku sumującym. Powodem jest utrzymanie możliwie najniższych odchyłek współczynnika indukcyjności różnych przewodów. Wszelka asymetria będzie miała negatywny wpływ na niepożądane zadziałanie ze względu na prądy zwarciove. Prąd przepływający przez przewód neutralny nie może zwiększać pomiaru prądu różnicowego. Przez przekładnik sumujący (czujnik) mogą przechodzić tylko przewody robocze obwodu zabezpieczonego, nie PE ani PEN [24]. Aby umożliwić na przykład przeprowadzenie przewodów zbrojonych, kabel może być prowadzony wraz z przewodem ochronnym PE, a następnie przewód ochronny z powrotem, patrz Rysunek 44. Przewód ochronny musi być odizolowany i nie może być uziemiony przy pierwszym lub drugim przejściu przez czujnik.

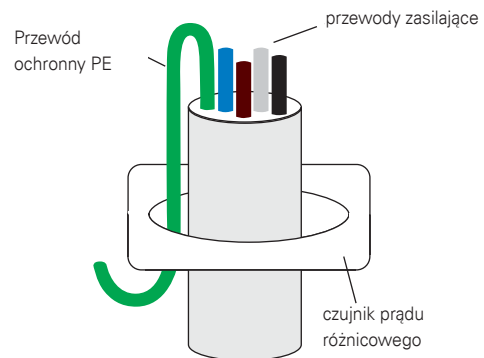


Symetryczne umiejscowienie kabla redukuje niepożądane zadziałanie na skutek prądów przepięciowych (patrz również Rys. 37)



Ekran magnetyczny do wymagających zastosowań redukuje niepożądane wyzwalanie, jest on przeznaczony do obwodów o wysokim natężeniu prądu przepięciowego ($I > 4 \times I_n$)

Rys. 43 Warunki prawidłowego montażu transformatora otworowego dla ograniczenia niepożądanego zadziałania



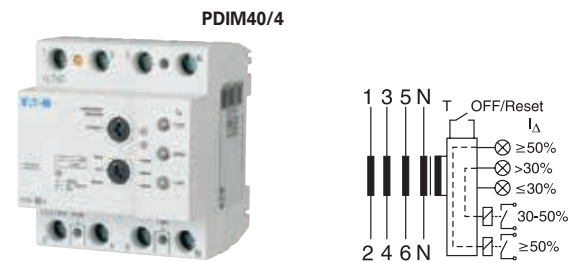
Rys. 44 Podłączenie przewodu ochronnego przy przejściu kabla przez przekładnik prądowy [24]

3.12.6 Urządzenia monitorujące różnicowoprądowe (RCM)

Urządzenia monitorujące różnicowoprądowe (RCM) są urządzeniami służącymi do wykrywania i analizy prądu różnicowego. W przypadku przekroczenia ustawionej wartości, taki stan niepożądany sygnalizowany jest za pomocą sygnalizatora wizualnego i/lub dźwiękowego. Alarm musi trwać do momentu usunięcia usterki.

Urządzenia RCM nie są przeznaczone do ochrony przed porażeniem prądem elektrycznym. Jeżeli RCM jest umieszczany po urządzeniu RCD, jego czułość należy ustawić na wartość nieprzekraczającą połowy wartości $I_{\Delta n}$. Wymagania tego typu są określone w normie IEC/EN 62020 - Monitory różnicowoprądowe do użytku domowego i podobnego typu zastosowań.

Czułość $I_{\Delta n}$ można ustawić w zakresie od 30 mA do 1 A z możliwością wyboru czasu bezczynności $t_{\Delta n}$ dla typów G i S.



Prąd znamionowy $I_n = 40 \text{ A}, 100 \text{ A}$

Czułość $I_{\Delta n}$: 30, 100, 300, 500, 1000 mA

Charakterystyki zadziałania: bez opóźnienia, G, S

Typ A

Sygnalizacja poziomu prądu różnicowego: 3 diody LED

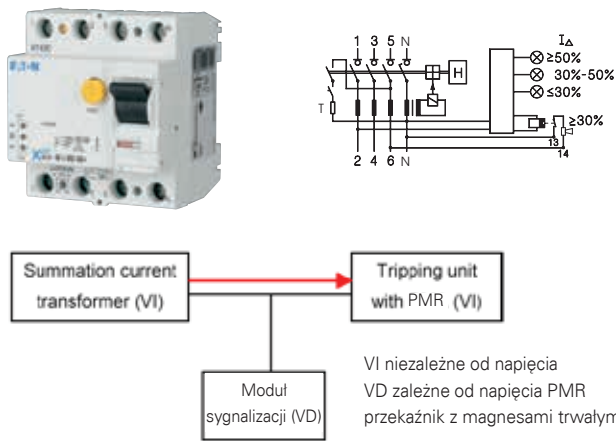
Sygnalizacja za pomocą wbudowanego styku pomocniczego

Rys. 45 Urządzenia monitorujące różnicowoprądowe (RCM)

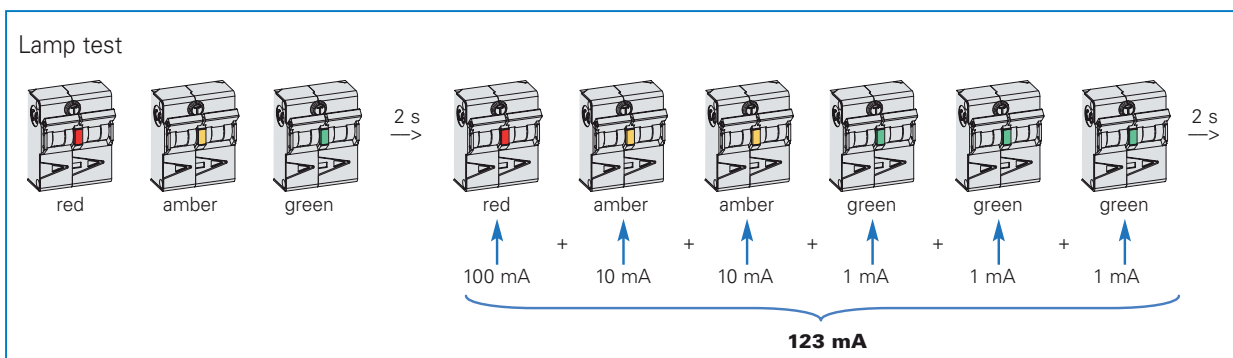
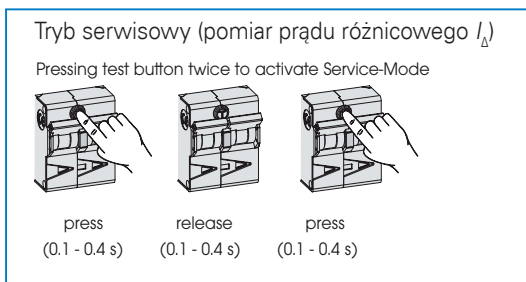
3.13 Cyfrowe wyłączniki różnicowoprądowe RCD

Cyfrowe RCD łączą w sobie funkcje ochronne z innowacyjnymi funkcjami uzupełniającymi, wykorzystującymi najnowocześniejszą technologię cyfrową. Dzięki temu zapewniają maksymalny komfort wyświetlania stanu i zwiększają odporność na niepożądane zadziałości, ponieważ wszystkie typy są wykonane z czasem bezczynności co najmniej 10 ms (G, R) lub 40 ms (S- selektywne). Technologia cyfrowa stosowana jest w typach bez zabezpieczenia przeciążeniowego (RCCB) oraz z zabezpieczeniem przeciążeniowym (RCBO). Urządzenia w sposób ciągły mierzą poziom prądu różnicowego i sygnalizują to lokalnie za pomocą diod LED lub za pomocą wbudowanych styków bezpotencjałowych.

Zostały zaprojektowane jako typ niezależny od napięcia, który spełnia wymagania we wszystkich krajach. Dodatkowe funkcje pomiaru wartości prądu różnicowego są zasilane napięciem sieciowym.



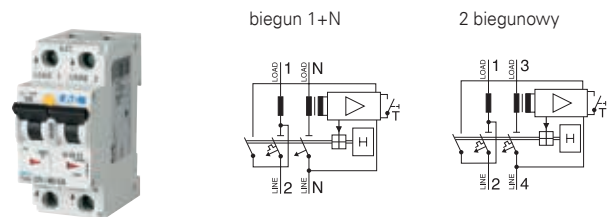
Rys. 46 Czterobiegunowy B z sygnalizacją poziomu prądu różnicowego (seria FRBdM)



Rys. 49 Cyfrowe RCD z zabezpieczeniem przeciążeniowym (RCBO) z lokalnym wskazaniem wartości prądu różnicowego przez diodę LED

Cyfrowe RCD w połączeniu z wyłącznikiem (RCBO) są dostępne jako urządzenia typu A.

Wyposażone są w układy elektroniczne z bardzo dokładną analizą chwilowej wartości prądu różnicowego. Naciśnięcie przycisku testowego umożliwia wyświetlenie poziomu prądu różnicowego z dokładnością do 1 mA. Ponadto urządzenie wyposażone jest w automatyczną kontrolę działania obwodów elektronicznych, która aktywowana jest przy każdym uruchomieniu oraz w każdym momencie pracy za pomocą przycisku serwisowego. Zidentyfikowany stan jest sygnalizowany przez wbudowaną diodę LED.



Rys. 47 Cyfrowy przełącznik RCBO z sygnalizacją poziomu prądu różnicowego (seria FRCdM)

Czerwony

Gdy zaświeci się czerwona dioda LED, prąd upływowy jest już wyższy niż 50 procent nominalnego prądu awarii. Dlatego też system jest w stanie krytycznym - cyfrowy RCCB wyłącza się tylko wtedy, gdy prąd różnicowy nadal rośnie.



Żółty

Żółta dioda LED sygnalizuje prąd różnicowy w zakresie od 30 do 50 procent znamionowego prądu różnicowego. Przed wyłączeniem systemu można podjąć profesjonalne środki zaradcze.



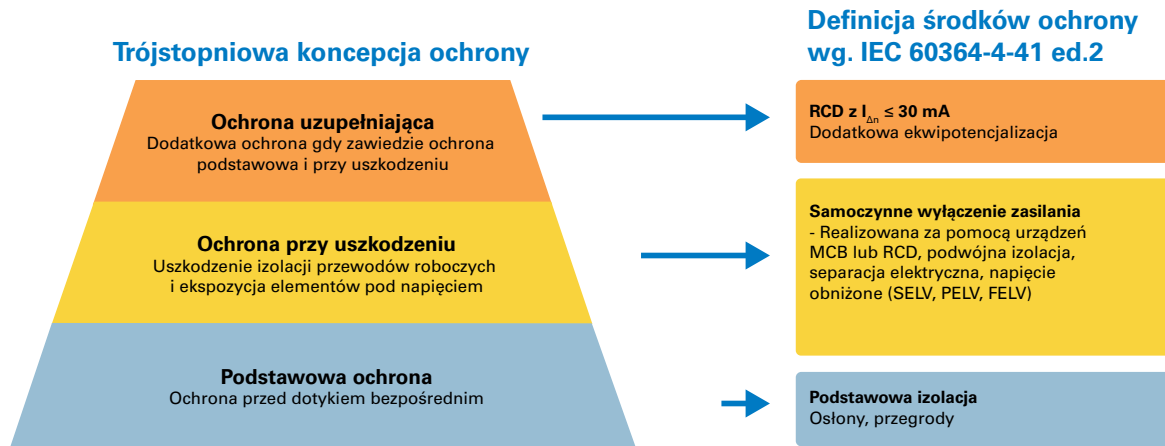
Zielony

Jeśli przepływ prądu w układzie do uziemienia mieści się w zakresie od 0 do 30 procent znamionowego prądu różnicowego, zielona dioda LED sygnalizuje prawidłowy stan.



Rys. 48 Wskazanie poziomu prądu różnicowego za pomocą diody LED (seria FRCdM).

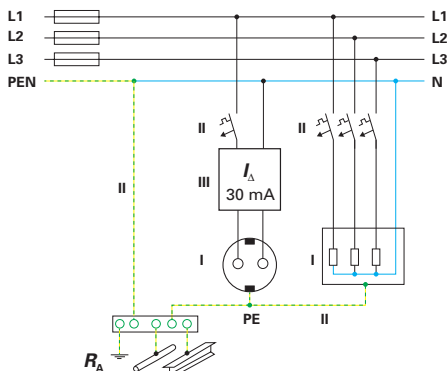
4. Ochrona przed porażeniem prądem elektrycznym



Rys. 50 Trójstopniowa koncepcja ochrony [2, 13].

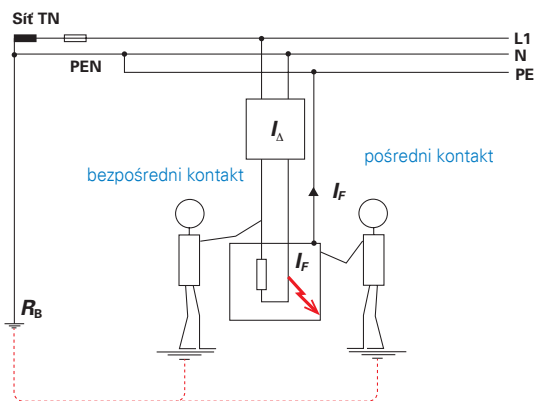
Instalacje elektryczne składają się z różnych komponentów, a bezpieczeństwo zależy od niezawodnej funkcjonalności każdego z nich. Prawidłowe działanie wyłączników RCD zależy również od wyboru odpowiedniego typu i ich prawidłowej instalacji. Przed oddaniem do eksploatacji należy ocenić bezpieczeństwo całej instalacji poprzez weryfikację wstępną, a w trakcie jej eksploatacji należy przeprowadzać regularne kontrole. Niezawodność RCD zależy od ich regularnego testowania.

Podstawowa norma elektryczna IEC 60364-4-41 - Ochrona przed porażeniem prądem elektrycznym definiuje pojęcie trójstopniowej ochrony, jak to jest wyszczególnione na Rysunkach 51 i 52. Pierwszy stopień to **podstawowa ochrona**. W przypadku jego awarii musi zadziałać **zabezpieczenie przed uszkodzeniem**. Najwyższy stopień ochrony to ochrona uzupełniająca, gdzie najczęściej stosowanym jest **wyłącznik ochronny RCD o czułości do 30 mA**.



- I- Ochrona podstawowa
- II- Ochrona przed awarią
- III- Ochrona dodatkowa

Rys. 51 Trójstopniowa ochrona w instalacji [2, 4]



Rys. 52 Bezpośredni i pośredni kontakt z częścią czynną [11]

Porażenie prądem może nastąpić w wyniku bezpośredniego kontaktu z częścią przewodzącą prąd lub kontaktu pośredniego w przypadku dotknięcia części przewodzącej, która normalnie nie przewodzi, ale z powodu awarii występuje na niej napięcie dotykowe (U_T), patrz Rysunek 53.

4.1 Ochrona w przypadku awarii

Zabezpieczenie w przypadku awarii reaguje tylko na awarię - zwykle po uszkodzeniu izolacji. Jest to zasadnicza różnica w porównaniu z misją ochrony podstawowej, która zapobiega wystąpieniu awarii, podczas gdy ochrona w przypadku awarii musi odpowiadać na usterkę, która już wystąpiła.

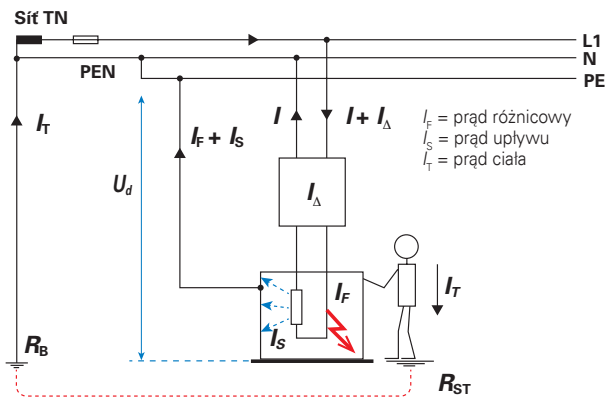
Najczęściej stosowanym środkiem ochrony jest **samoczynne wyłączenie zasilania**. Przerwa w dostawie prądu musi być zapewniona w wystarczająco krótkim czasie, kiedy nie rozpoczyna się jeszcze niebezpieczny wpływ prądu elektrycznego na organizm ludzki. Automatyczne odłączanie wymaga koordynacji typu zasilania (transformator, generator, ...), układu uziemiającego, wartości impedancji układu okablowania ochronnego i charakterystyk urządzenia ochronnego. Przewód ochronny PE jest zawsze niezbędny do prawidłowego działania. Stosowane są następujące systemy:

- w sieciach TN- urządzenia zabezpieczające przed przeciążeniem lub RCD;
- w sieciach TT- RCD;
- w sieciach IT- monitorowanie izolacji przy pierwszej usterce za pomocą urządzeń monitorujących izolację (IMD) lub monitorów różnicowoprądowych (RCM) oraz w przypadku podłączenia do uziemienia, automatyczne odłączanie (bezpieczniki, wyłączniki, RCD).
- ochrona przez połączenia wyrównawcze - zmniejszenie napięcia dotykowego między elementami przewodzącymi narażonymi na bezpośredni kontakt;

Rodzaj uziemienia sieci (TN, TT, IT) określa reguły wyboru czułości RCD.

4.1.1. Ochrona w sieciach TN

Ochrona poprzez automatyczne odłączenie od zasilania w sieci TN jest najczęstszą metodą ochrony w większości krajów Europy. Jego zasada polega na odizolowaniu uszkodzonej części sprzętu elektrycznego przewodem ochronnym, który łączy wszystkie odsłonięte części przewodzące sprzętu elektrycznego z punktem zerowym układu. Podstawowym warunkiem dla sieci TN jest to, aby w przypadku zwarcia pomiędzy przewodem fazowym a odsłoniętą częścią przewodzącą był generowany wystarczający prąd, który musi być równy lub wyższy od prądu wyzwalającego wyłącznik I_a wyłącznika różnicowoprądowego. Wyzwolenie wyłącznika musi nastąpić w czasie określonym dla danego środowiska i rodzaju użytkowania (0,2 s, 0,4 s, 5 s) lub wyższym dla sieci zasilających.



Rys. 53 Sieci TN z RCD

Podstawowym warunkiem impedancji pętli zwarcia w sieci TN jest:

$$Z_s \leq U_o / I_a$$

mając na uwadze, że:

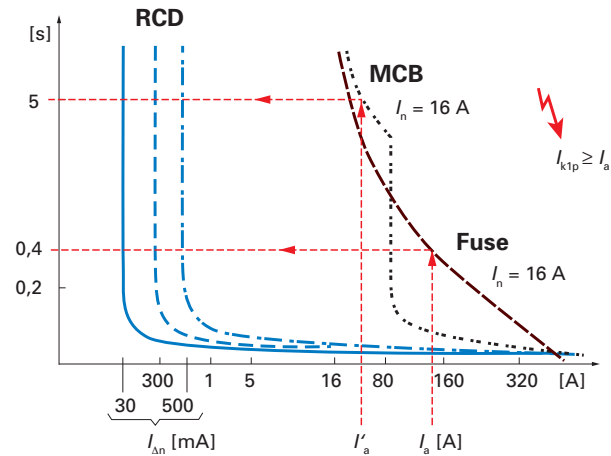
Z_s ... impedancja pętli zwarcia [Ω],

U_o ... napięcie fazowe [V],

I_a ... prąd wyzwalający, który zapewni zadziałanie urządzenia zabezpieczającego w określonym czasie [A].

Głównym kryterium bezpieczeństwa jest czas zadziałania wyłącznika podczas wystąpienia awarii. **W sieci TN czas zadziałania zabezpieczeń wynosi do 5 sekund.** W przypadku, gdy nie można osiągnąć zalecanego czasu zadziałania, stosuje się dodatkowe okablowanie. **Maksymalne czasy zadziałania dla obwodów końcowych w sieciach TN o napięciu doziemnym wynoszącym 230 V i prądzie do 32 A wynoszą 0,4 s.** W przypadku stosowania RCD wymagane czasy zadziałania są osiągane z dużym marginesem. Prąd wyzwalający I_a jest zastępowany przez znamionową wartość prądu różnicowego $I_{\Delta n}$, przy czym warunek impedancji pętli zwarcia jest we wszystkich przypadkach łatwy do spełnienia.

$$Z_s \leq U_o / I_{\Delta n}$$

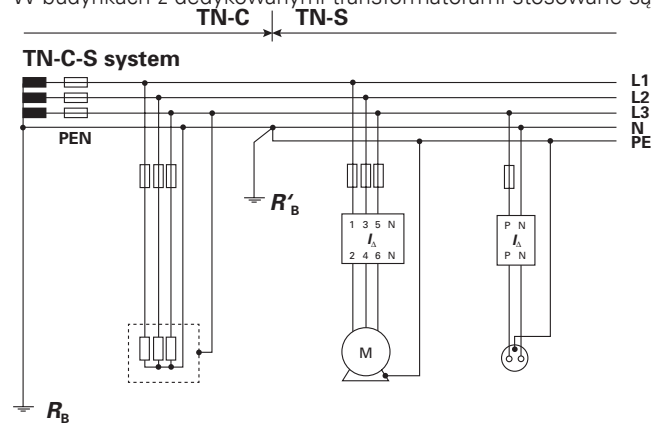


Rys. 54 Prądy wyzwalające bezpieczników, wyłączników i wyłączników różnicowoprądowych

Rozdział przewodów PE i N

Najczęściej stosowanym typem sieci zasilającej jest TN-C, w której jednym wspólnym przewodem jest przewód neutralny i ochronny. Stosowanie RCD w sieci TN-C jest zabronione, ponieważ w przypadku awarii taki podłączony wyłącznik nie może spełniać swojej funkcji. Separacja przewodu PEN na przewody PE i N w głównej rozdzielni gospodarstwa domowego powoduje konwersję sieci na sieć TN-S. **Przewodów PE i N nie wolno łączyć w instalacji za RCD.**

W budynkach z dedykowanymi transformatorami stosowane są



Rys. 55 Oddzielenie przewodów PE i N

w sieci TN-S, gdzie przewody N i PE rozdzielone są w rozdzielni głównej przy transformatorze. Przewody PE i N są oddzielone w całej instalacji.

4.1.2 Ochrona w sieciach TT

Zabezpieczenie poprzez automatyczne odłączenie w sieciach TT polega na połączeniu części przewodzących odsłoniętych z uziemieniem oraz zastosowaniu uziemienia do przewodzenia prądu zwarciovego do węzła zasilającego. Schemat okablowania sieci TT przedstawiono poniżej na [Rysunku 8](#). Rezystancja uziemienia ochronnego urządzenia elektrycznego musi być wystarczająco niska, aby zapewnić odłączenie usterki w wymaganym czasie. Ciągła separacja przewodu neutralnego i ochronnego w całej sieci jest niezbędna do prawidłowego funkcjonowania sieci. W przypadku awarii sieci TT, część przewodząca narażona jest na stosunkowo wysokie napięcie dotykowe (150 do 200 V), ponieważ napięcie sieci zasilającej jest podzielone proporcjonalnie do impedancji okablowania i rezystancji uziemienia. W przypadku kontaktu z osobą tak wysokie napięcie spowoduje poważne porażenie prądem elektrycznym, znacznie większe niż zwykle w przypadku awarii sieci TN. Innym czynnikiem ryzyka w sieci TT jest prawdopodobieństwo awarii RCD, od którego bezpośrednio zależy zabezpieczenie przez automatyczne wyzwolenie. Z tego powodu w sieci TT zaleca się stosowanie dwóch RCD szeregowo. Pierwszy z nich jest RCD w budynku głównym, a drugi jest typem czułym dla obwodów końcowych z $I_{\Delta n} \leq 30 \text{ mA}$.

Znamionowy prąd różnicowy $I_{\Delta n}$ RCD nie może przekraczać prądu odpowiadającego maksymalnej wartości R_A prądu uziemiającego nieprzewodzących części, z uwzględnieniem możliwych zmian sezonowych (susza, zamrznięta gleba itp.).

Wartość maksymalna R_A (Ω)	Czułość maksymalna $I_{\Delta n}$ (RCD)
2,5	20 A
5	10 A
10	5 A
17	3 A
50	1 A
100	500 mA
167	300 mA
500	100 mA
1666	30 mA

R_A jest sumą rezystancji przewodu uziemienia i przewodu ochronnego w stosunku do części nie pod napięciem

Tab. 10 Wybór czułości prądu różnicowego w sieci TT

4.1.3. Ochrona w sieciach IT

Sieci IT są stosowane tam, gdzie wymagane jest maksymalne bezpieczeństwo i wysoka niezawodność zasilania wybranych urządzeń. Zaletą sieci IT jest możliwość bezpiecznego działania nawet w przypadku pojawienia się pierwszego zwarcia doziemnego, które mogłoby spowodować natychmiastowe zadziałanie urządzenia zabezpieczającego w sieci TT lub TN. Ich wadą jest bardziej skomplikowana obsługa.

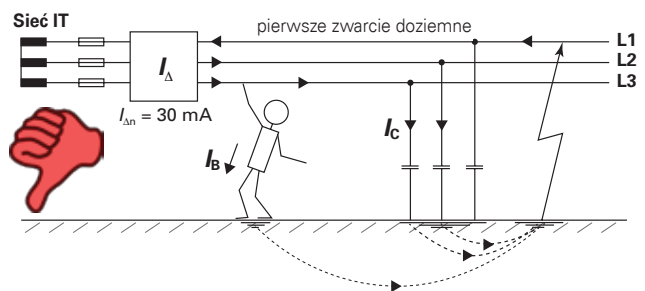
Idealna sieć IT jest odizolowana od ziemi w całym zakresie jej zasięgu, tylko odsłonięte części przewodzące urządzeń elektrycznych są uziemione. Przy pierwszym **zwarciu doziemnym** (pierwsza usterka) do ziemi nie płynie prąd, a wstępny element przeciążeniowy nie zadziała. Sieć IT staje się zatem siecią TN z uziemieniem. Jednak prawdziwe sieci IT różnią się od tak idealnych warunków, ponieważ każda instalacja ma pewne prądy upływu. W mniejszych sieciach prąd pobierany

przez styk jest nadal wystarczająco niski, aby spowodować obrażenia. W bardzo rozległych sieciach, prądy upływowe dochodzą do jednostek Amperów. W celu rozpoznania pierwszej usterki stosuje się urządzenia do monitorowania izolacji (IMD) lub monitory różnicowoprądowe (RCM), które muszą wysyłać sygnały dźwiękowe lub świetlne, aby można było bezpiecznie zakończyć prowadzone prace.

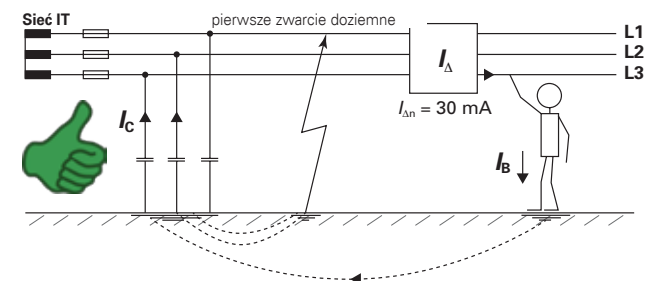
Jeżeli w sieci IT **w innym miejscu wystąpi drugie połączenie z ziemią** (druga usterka), to pierwsze z połączeń z ziemią powoduje prąd zwarciovowy, a urządzenia ochronne przetężeniowe muszą powodować odłączenie. Ponieważ pierwsza i druga awaria może wystąpić na dwóch przeciwległych końcach instalacji, mianownik zawiera 2 (impedancja przewodów na dwa sposoby). Szczegóły są określone w normie IEC 60364-4-41.

Inne końce sieci IT napotykać na problem z zastosowaniem wyłączników przeciążeniowych w przypadku drugiej awarii, dlatego też należy zastosować dodatkowe połączenie lub zapewnić ochronę za pomocą RCD. Sytuacja nie jest jednak tak prosta jak w sieciach TT i TN. Jeśli po RCD wystąpi druga awaria, to może on nie zadziałać. Podstawową zasadą stosowania czułych wyłączników w sieciach IT jest to, że ich instalacja dla różnych gniazd musi być jak najbliższa urządzeniu (patrz [Rysunek 57](#)). Okablowanie za RCD musi być znacznie krótsze niż przed instalacją.

Szczególnym przypadkiem są **izolowane sieci w szpitalach** (MIS = izolowane sieci medyczne) i podlegają szczególnym wymaganiom normy IEC 60 364-7-710: Instalacje elektryczne w pomieszczeniach medycznych. Ze względu na specyficzne warunki MIS projektowanie i eksploatacja powinny być powierzane wyłącznie wykwalifikowanemu personelowi, który zna szczególne wymagania dla instalacji medycznych.



Rys. 56 Niewłaściwe użycie czułego RCD w sieci IT



Rys. 57 Właściwe użycie czułego RCD w sieci IT

4.2 Ochrona uzupełniająca za pomocą wyłączników różnicowoprądowych RCD z $I_{\Delta n} \leq 30 \text{ mA}$

Pomimo wszelkich starań o zapewnienie możliwie najwyższego poziomu bezpieczeństwa, zdarzają się sytuacje, w których wysokiej jakości izolacja zostaje uszkodzona i woda przedostaje się do urządzenia elektrycznego lub z powodu niedbałości dochodzi do kontaktu z częścią przewodzącą. W takim przypadku musi być dostępny czuły RCD. W związku z tym mówimy o dodatkowej ochronie poprzez RCD o czułości $I_{\Delta n} \leq 30 \text{ mA}$.

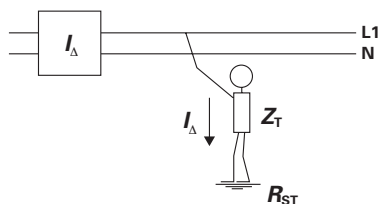
Rysunek 58 Przypadki, w których czuły wyłącznik RCD może uratować życie.

Jednakże stosowanie RCD o czułości $I_{\Delta n} \leq 30 \text{ mA}$ nie jest uważane za jedyny możliwy środek zapobiegawczy i nie eliminuje konieczności stosowania środka zapobiegającego porażeniom prądem elektrycznym. W przypadku urządzeń elektrycznych klasy ochronności I takim środkiem zapobiegawczym jest przede wszystkim ochrona poprzez automatyczne odłączenie od zasilania lub w przypadku urządzeń izolacyjnych klasy II, ochrona poprzez podwójną izolację.

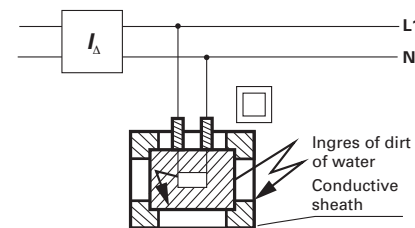
Obowiązkowe stosowanie wyłączników różnicowoprądowych z $I_{\Delta n} \leq 30 \text{ mA}$ dotyczy wszystkich gniazd zewnętrznych do prądu znamionowego 20 A oraz do gniazd, w przypadku gdy są one używane przy przenośnych urządzeniach ręcznych do użytku na zewnątrz. Ochrona za pomocą czułych RCD nie musi być stosowana w gniazdach zewnętrznych tylko w wyjątkowych przypadkach, gdy stosowany jest transformator separacyjny lub gdy urządzenie jest obsługiwane przez osobę o kwalifikacjach elektrycznych lub gdy urządzenie elektryczne posiada podwójną izolację. Nadal jednak istnieje ryzyko uszkodzenia ruchomych przewodów zasilających.

We wszystkich przypadkach, w których istnieje zwiększone ryzyko porażenia prądem elektrycznym, zaleca się stosowanie czułego RCD. Typ sieci (TN, TT lub IT) nie ma wpływu na funkcję RCD, pod warunkiem uwzględnienia szczególnych cech różnych typów sieci.

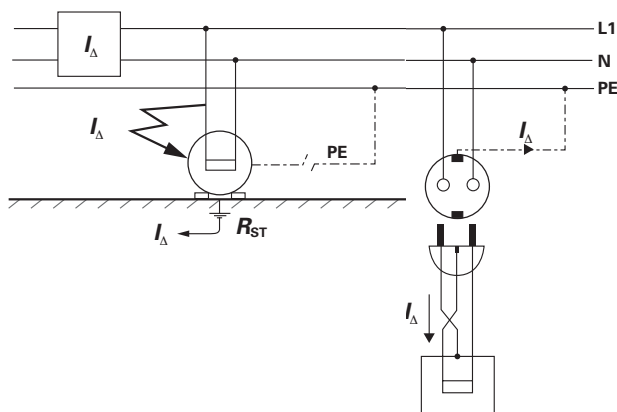
a) Kontakt z częścią pod napięciem



b) Awaria izolacji urządzenia klasy II



c) Przerwanie przewodu ochronnego do urządzenia klasy ochronnej I, wymiana przewodów roboczych i ochronnych



Rys. 58 Przypadki dodatkowej ochrony za pomocą RCD z $I_{\Delta n} \leq 30 \text{ mA}$



„Napraw urządzenia elektryczne, które razi prądem lub kopie”

Rys. 59 Plakat historyczny dotyczący bezpieczeństwa (Czechosłowacja 1927)



Rys. 60 Plakat historyczny dotyczący bezpieczeństwa (Austria 1925)

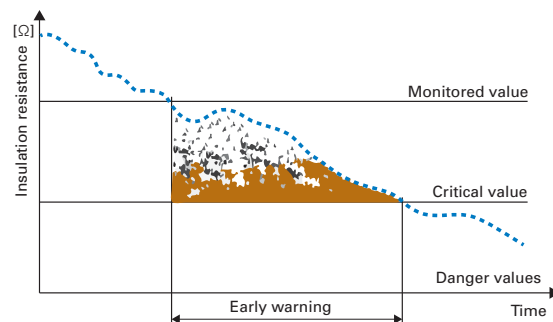
5. Ochrona przeciwpożarowa

Usterki urządzeń elektrycznych są bardzo częstą przyczyną pożarów. Powód ten podawany jest formalnie nawet w przypadkach, gdy nie można ustalić faktycznej przyczyny. Najprostszym sposobem jest zawsze stwierdzenie, że ogień był spowodowany „zwarcie”. Eksperti wiedzą jednak, że najczęściej nie warto się zastanawiać nad zwykłym zwarcie, ponieważ wyłączniki lub bezpieczniki mogą bardzo szybko odłączyć urządzenia elektryczne, a energia prądu zwarciowego w większości przypadków nie może spowodować pożaru w tak krótkim czasie (milisekundy). Znacznie bardziej niebezpieczne pod względem pożarowym są **uszkodzenia długotrwałe**, takie jak słabe połączenia o wysokiej rezystancji styków, które narażają połączenie na wysokie obciążenie termiczne w długim okresie czasu i powodują głównie zużycie i degradację izolacji. Awariom tym można zapobiec poprzez dobrze wykonany montaż i regularne przeglądy. Szczególnie niebezpieczne są tzw. prądy pelzające przy słabej jakości uziemieniu o niskim napięciu, na które nie reagują bezpieczniki lub wyłączniki. Usterki tego typu powodują zbyt późne zadziałanie lub całkowity brak zadziałania. Jeżeli awaria rozwinęła się w sposób powodujący przegrzanie lub nawet późniejsze zwarcie, wystąpienie pożaru jest wysoce prawdopodobne.

5.1 Ochrona przed prądami upływu

Jeżeli nawet stosunkowo niski prąd upływowy może spowodować miejscowe przegrzanie izolacji **lub warunki palne, należy zastosować wysokiej jakości izolacje kablowe w połączeniu z odpowiednim RCD o czułości do 300 mA. Czułość tę potwierdzają pomiary, które potwierdziły, że moc rozpraszania 20-100 W jest wystarczająca do zapłonu drewna, siana, słomy i innych materiałów łatwopalnych. Biorąc pod uwagę tolerancje prądu wyłączenia, wyzwolenie następuje już przy mocy rozpraszającej około 40 W.**

Minimalne wymagania dotyczące stosowania urządzeń elektrycznych w obszarach o wysokim ryzyku pożarowym są określone w aktualnej normie IEC 60364-4-42 Zapobieganie pożarom w pomieszczeniach o szczególnym ryzyku lub zagrożeniu. Norma ta określa obowiązek stosowania RCD o $I_{\Delta n} \leq 300$ mA we wszystkich przypadkach, w których urządzenie elektryczne styka się z materiałami palnymi. Główną przyczyną uszkodzeń izolacji, po których następują **prądy pelzające, są naprężenia termiczne i mechaniczne oraz inne szkodliwe oddziaływania zewnętrzne. Wysokie temperatury powodują ciągłe odparowywanie zmięczaczy z najczęściej stosowanej izolacji PVC, co powoduje, że staje się ona twardsza i porowata. Zmiany temperatury otoczenia wiążą się również ze zmianami wilgotności, tworząc razem warunki dla występowania niedozwolonych ładunków i prądów pelzających, patrz [Rysunek 61](#) i [62](#).**



Rys. 61 Spadek rezystancji izolacji w instalacjach i urządzeniach elektrycznych spowodowany starzeniem się izolacji



Rys. 62 Występowanie pożaru wskutek prądów pelzających



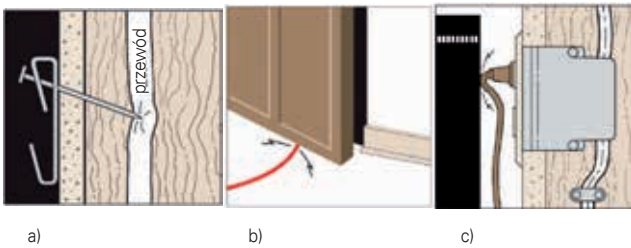
Rys. 63 Pożar zamku Hofburg (Wiedeń, 1992)

5.2 Przeciwpowarowy detektor iskrzenia (AFDD)

Statystyki pożarów wskazują, że istnieje wiele przypadków pożarów spowodowanych iskrzeniem pomiędzy przewodami roboczymi, w których nie wykryto usterki za pomocą RCD. Oprócz zwarć doziemnych, na które reaguje RCD, istnieją również inne prądy różnicowe, które występują wyłącznie pomiędzy przewodami roboczymi, na które RCD nie mogą zareagować. Jeśli impedancja obwodu awarii nie jest wystarczająco niska, aby zapewnić zadziałanie zabezpieczenia obwodu, ryzyko pożaru na skutek utrzymującej się awarii wzrośnie. Kolejnym zagrożeniem jest tzw. **łuk szeregowy**, który występuje w punkcie przerwania przewodu roboczego. Chociaż temat ten nie koncentruje się głównie na ochronie za pomocą RCD, jest z nim ściśle związany. Dlatego zajmiemy się tym szczegółowo.

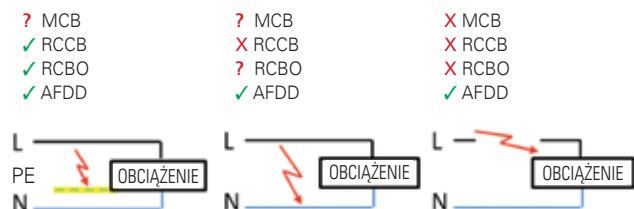
Najczęstsze przypadki łuku szeregowego:

- uszkodzona izolacja przewodów w instalacjach stałych (gwóździem, śrubą itp.)
- ściśnięta izolacja przewodu zasilania lub przedłużacza, gdy kable znajdują się pomiędzy drzwiami lub pod nimi lub też są uwięzione pod urządzeniami (zmywarka, pralka, suszarka itp.)
- zerwanie przewodu na skutek ostrych krawędzi lub przerwanie izolacji przez zaciski.
- promieniowanie UV
- nieprofesjonalny montaż, niewystarczająca liczba zacisków itp.



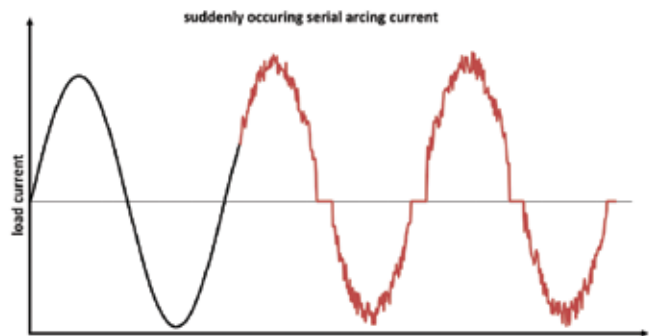
Rys. 64 Usterki polegające na wystąpieniu iskrzenia, na które RCD nie są w stanie zareagować

W przypadku łuku szeregowego prąd zwarciový nie przekroczy prądu znamionowego urządzenia, ale temperatura izolacji wzrośnie i w końcu zwęgli się. Może to szybko spowodować pożar. Kolejną niebezpieczną sytuacją jest stopniowy wzrost rezystancji styków połączeń i wzrost ich temperatury. Jeżeli usterka ta nie zostanie wykryta w odpowiednim czasie, może spowodować zapalenie się izolacji.



- MCB – wyłącznik nadprądowy
- RCCB – wyłącznik różnicowoprądowy
- RCBO – wyłącznik różnicowoprądowy z zabezpieczeniem przed przeciążeniem (MCB + RCCB)
- AFDD – detektor iskrzenia

Rys. 65 AFDD (ang. arc fault detection device) poprawia jakość ochrony za pomocą RCD w przypadku awarii równoległych i szeregowych



Łuk generuje sygnał wysokiej częstotliwości od 100 kHz do 70 MHz
Łuk zatrzymuje się przy zerowym przekroczeniu napięcia

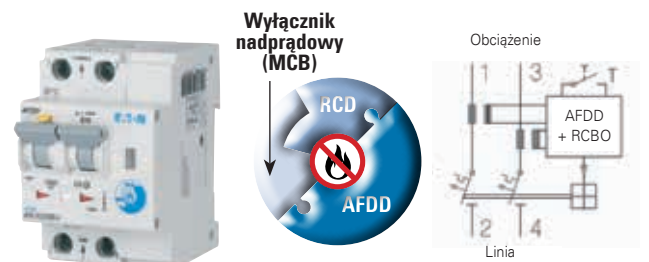
Rys. 66 Przykład przepływu prądu w przypadku łuku szeregowego

Nowo wprowadzony AFDD (Arc Fault Detection Device- Detektor iskrzenia) ma na celu zmniejszenie ryzyka pożaru spowodowanego łukiem szeregowym lub w przypadku, gdy prąd przepływa pomiędzy przewodami roboczymi (równoległy przepływ prądu), gdy RCD nie jest w stanie zareagować na taką awarię lub gdy prąd zwarciový nie osiąga wartości znamionowego różnicowego prądu. AFDD jest elektromagnetycznym urządzeniem przełączającym z obwodami elektronicznymi, które monitorują charakter prądu. Zwarcie łukowe posiada określony przepływ prądu i AFDD reaguje na niego poprzez odłączenie obwodu z usterką. Dzięki automatycznemu odłączeniu AFDD jest w stanie chronić instalację przed uszkodzeniem spowodowanym przez łuk elektryczny oraz przed skutkami termicznymi, takimi jak spalanie przewodów. Do tych urządzeń ma zastosowanie norma IEC 62606. Zastosowanie tych urządzeń jest wymienione w nowej normie IEC/EN 60364-4-42: (2015) - Ochrona przed skutkami termicznymi.

W celu zwiększenia bezpieczeństwa zaleca się stosowanie specjalnych środków ochrony przed skutkami wyładowań łukowych w następujących przypadkach:

- w pomieszczeniach o zagrożeniu pożarowym ze względu na charakter materiałów budowlanych (takich jak garaże, sklepy z materiałami drewnianymi, magazyny materiałów palnych);
- w pomieszczeniach z łatwopalnymi materiałami konstrukcyjnymi (takimi jak budynki drewniane);
- w pomieszczeniach, w których istnieje potencjalne zagrożenie dla towarów niezastąpionych;
- itd.

Urządzenia AFDD mogą zmniejszyć ryzyko pożaru również w pomieszczeniach dla osób starszych lub niepełnosprawnych.



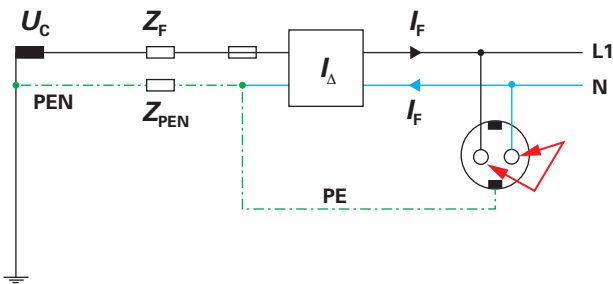
Rys. 67 AFDD w wersji kompaktowej z RCD i MCB

6. Ograniczenia stosowania wyłączników różnicowoprądowych RCD

Ze względu na zasadę działania RCD napotykają na pewne ograniczenia w zastosowaniu. W poniższych punktach określono najczęstsze przypadki, w których nie można zastosować RCD i należy zapewnić ochronę za pomocą innych metod.

• Zwarcie pomiędzy przewodami roboczymi

Rysunek 68 przedstawia przypadek zwarcia pomiędzy przewodami pod napięciem, tj. faza do fazy (L-L) lub faza do zera (L-N). Wyzwolenie przez wyłącznik lub bezpiecznik. Podobna sytuacja występuje przy kontakcie dwóch przewodów roboczych.



Rys. 68 Zwarcie pomiędzy przewodami pod napięciem po RCD nie zapewni jego zadziałania

- **Prądy przepięciowe w przewodach pod napięciem** - należy obliczyć odpowiednią koordynację i zastosować odpowiednie połączenie.

- **Stale prądy upływowe** - uszkodzony obwód należy podzielić na oddzielne obwody lub zastosować środki ochronne, gdy nie będzie zastosowany RCD (np. połączenie ochronne).

• Przerwa w przewodzie PEN przed RCD

W przypadku przerwania przewodu PEN (sieć TN-C) na części przewodzącej odsłoniętej wystąpi niebezpieczne napięcie dotykowe. W przypadku kontaktu osoby z tą częścią, impedancja ciała jest oceniana jako obwód roboczy i RCD nie ma powodu do zadziałania. Zaleca się stosowanie częściowego uziemienia przewodu PEN i przewodu PE w ostatnim punkcie separacji (rozdzielnica, skrzynka instalacyjna). Środek ten zmniejsza napięcie styku na części przewodzącej odsłoniętej i jednocześnie gwarantuje niezawodne zadziałanie wyłącznika RCD w przypadku zetknięcia się z nim osób.

• Oddziaływania zewnętrzne i nieodpowiednia osłona

- RCD są przeznaczone głównie do użytku domowego i w podobnych zastosowaniach, dlatego też oczekuje się, że będą stosowane w normalnych warunkach. Stopień ochrony IP20 (przed dotykiem) i urządzenie działa niezawodnie tylko w spodziewanym podstawowym środowisku. W środowiskach o wysokiej wilgotności, agresywnym środowisku w zakładach chemicznych, na basenach itp. należy zapewnić wysoki stopień ochrony i/lub wymuszoną wentylację rozdzielni z normalnej atmosfery bez występowania substancji szkodliwych.

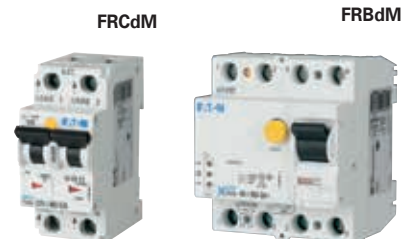
• Ochrona przeciwpożarowa w przypadku iskrzenia pomiędzy przewodami roboczymi

- konieczna kombinacja z zabezpieczeniem przed występowaniem zwarć łukowych - AFDD (ang. Arc Fault Detection Device). (patrz rozdział 5.2)

7. Niezawodność RCD

7.1 Niezawodność operacyjna

Długoterminowe badania i weryfikacja funkcjonalności środków ochronnych w dziesiątkach tysięcy instalacji niskonapięciowych na całym świecie dowiodły, że istnieje pewna granica niezawodności RCD, którą należy wziąć pod uwagę. Typy niezależne od napięcia i zależne od napięcia zapewniają porównywalną niezawodność. Częstotliwość błędów w rozpatrywanym okresie 10 lat wahała się od 3 do 5 %. Szeroko zakrojone badania wiarygodności miały miejsce od lat 60-tych, ale większość z nich została przeprowadzona w latach 80-tych w Austrii, Niemczech i Włoszech. W ciągu 30 lat eksploatacji, co jest typowym okresem eksploatacji instalacji, liczba niefunkcyjnych urządzeń wzrosła do 10%. Chociaż prawdopodobieństwo wystąpienia usterki w przypadku RCD w jednostkach procentowych w okresie dziesięciu lat uważa się za stosunkowo wysokie ryzyko, prawdopodobieństwo wystąpienia błędów ludzkiego jest wielokrotnie wyższe w tym samym okresie czasu! Dlatego też należy dążyć do możliwie najwyższej niezawodności środków ochronnych, które muszą być zawsze sprawne.



- Nadaje się również do wyższych wartości prądu upływu (ograniczona tolerancja)
- Charakterystyki wyzwalań G i S
- Wskazanie wartości prądu różnicowego (analiza cyfrowa)

Rys. 69 Cyfrowy RCD o zwiększonej niezawodności z corocznym okresem testowania

W przypadku, gdy koncentrujemy się wyłącznie na typach RCD niezależnych od napięcia, które są akceptowane we wszystkich krajach, możliwym rozwiązaniem jest selekcja z produkcji seryjnej z uwzględnieniem ograniczonej tolerancji parametrów. Wszystkie typy o podwyższonej niezawodności są typami opóźnionymi z korzyścią dla zadziałania impulsu z akumulatora energii (kondensatora). Wybrane części, a następnie w pełni zmontowane urządzenia poddawane są bardziej wymagającym testom elektrycznym, mechanicznym i klimatycznym. Na podstawie wyników długotrwałych testów trwałości można zagwarantować większą niezawodność całego RCD. Obejmuje to również zalecane odstępy czasu między regularnymi kontrolami za pomocą przycisku testującego, przedłużone do sześciu miesięcy, a w przypadku niektórych typów nawet do jednego roku (patrz Rys. 70).

Uwaga:

Jednym z rozwiązań był projekt RCD o wysokiej niezawodności, wykorzystujący połączenie najbardziej niezawodnych elementów konstrukcyjnych urządzeń niezależnych od napięcia i zależnych od napięcia (typ HFI prof. dr Biegelmeier, Austria Patent Nr 387675 B, 1988). Seryjną produkcję wprowadziła firma Felten&Guilleaume. Prawidłowe działanie zostało zagwarantowane bez konieczności przeprowadzania testów przez cały okres użytkowania instalacji. Nowe rozwiązanie wykorzystywało napięcie sieci zasilającej do niezawodnego zadziałania, dlatego z zasady nie mogło być całkowicie niezależne od napięcia. Dlatego nie została ono przyjęte w krajach, w których nadal wymagana jest pełna niezależność od napięcia, nawet jeśli nie ma ku temu powodów związanych z bezpieczeństwem.

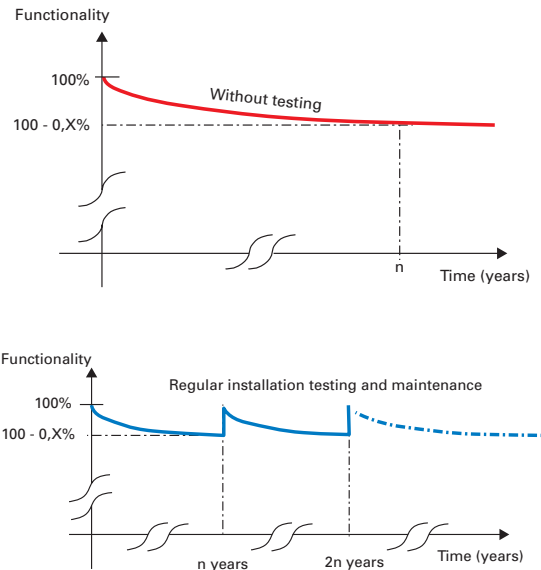
7.2 Regularne funkcje kontrole

Testowanie działania RCD poprzez naciśnięcie przycisku TEST musi odbywać się w odstępach czasu zalecanych przez producenta [22] lub na podstawie wymagań lokalnych zasad działania z uwzględnieniem specyficznych warunków lokalnych (wilgotność, zapylenie, zmiany temperatury itp.). Za regularne testy odpowiedzialny jest operator urządzenia. Najczęściej wymagane odstępy czasu między kontrolami są miesięczne lub półroczne. Dłuższe okresy między kontrolami są wymagane w nieprzerwanych pomieszczeniach produkcyjnych, gdzie przerwy na kontrole i konserwację są możliwe na przykład tylko raz w roku. Istnieją również zupełnie wyjątkowe sytuacje, kiedy instalacja nie może być wyłączona przez bardzo długi czas. Ma to zazwyczaj miejsce na oddziałach ratunkowych w szpitalach, gdzie łóżka są stale zajęte, a zasilanie elektryczne nie może zostać wyłączone do celów zwykłych kontroli. Do takich zastosowań należy zakupić typy o dłuższych gwarantowanych odstępach pomiędzy kontrolami. Niezależnie od tego, jakie są zasady obowiązujące operatora, konieczne jest przeprowadzenie testów funkcjonalnych.

Firma Eaton zaleca przeprowadzanie testów w następujących przypadkach:

- natychmiast po instalacji
- natychmiast po modyfikacji instalacji
- regularne badania (z należyтым uwzględnieniem starzenia się instalacji):
 - normalne instalacje domowe i podobne (suche, wolne od pyłu środowisko) - 6 miesięcy
 - inne instalacje (obwody zewnętrzne, zakłady produkcyjne) - 1 miesiąc
 - wszystkie typy z opóźnieniem (G, S, R, U) - 6 miesięcy
 - cyfrowy RCD - 1 rok

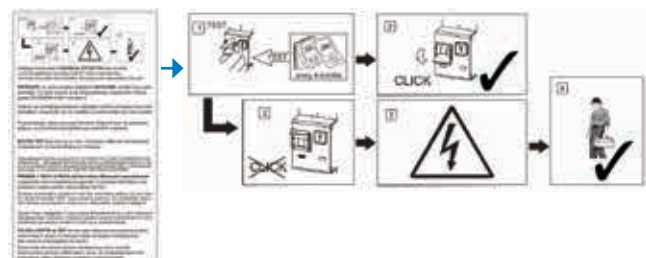
Jeśli RCD jest używany do samoczynnego wyłączenia zasilania, wówczas urządzenie zabezpieczające przed przeciążeniem, które i tak jest zawsze zintegrowane z instalacją, będzie nadal działać nawet w przypadku awarii RCD. Jednak w przypadku dodatkowej ochrony części pod napięciem szczególnie istotną rolę odgrywa niezawodność. Wrażliwy RCD jest ostatnim zabezpieczeniem na wypadek, gdyby inne środki ochronne zawiodły, a w ostatecznym rozrachunku może uratować życie.



Rys. 70 Teoretyczna zależność czynnościowa RCD bez testów i przy regularnych testach [22]

Uwaga:

Znaczna poprawa niezawodności jest widoczna w nowszych typach RCD. Ma na to bezpośredni wpływ wprowadzenie pod koniec lat 90-tych testów klimatycznych, które dodatkowo wprowadzono do norm produktowych dotyczących RCD. Wszystkie obecnie obowiązujące normy wymagają badań odporności na uszkodzenia, które obejmują 28-dniowe badania odporności na warunki klimatyczne z cyklicznym wystawieniem na działanie ciepła do +55 °C i wilgotnością powietrza do 95 %. Po tym badaniu RCD musi zadziałać przy wartości prądu różnicowego wynoszącej $I_{\Delta} = 1.25 \times I_{\Delta n}$. Uznaje się również, że testy klimatyczne mogą mieć wpływ na parametry RCD, w związku z czym dozwolone jest stosowanie dodatkowych urządzeń o wartości prądu wyższej niż wartość prądu znamionowego. Zalecany miesięczny odstęp czasu między testami, określony przez producentów dla zwykłych typów wyłączników RCD, odpowiada w przybliżeniu czasowi trwania badań odporności na warunki klimatyczne.



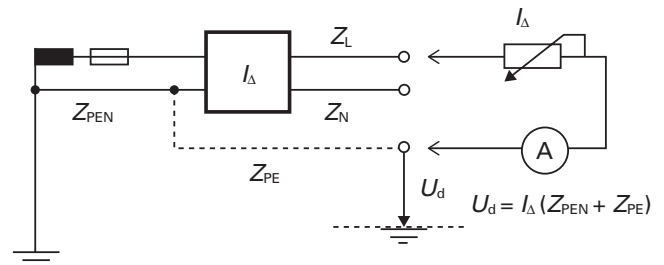
Rys. 71 Etykieta z ostrzeżeniem na temat obowiązkowego regularnego testowania Z-HWS-FI

8. Pomiary wyłączników różnicowoprądowych RCD podczas kontroli

Metody pomiaru RCD są stosunkowo proste i opierają się na zasadach okablowania określonych w normach produktowych, patrz Rys. 72. Pomiary mogą być wykonywane za pomocą ogólnych laboratoryjnych urządzeń pomiarowych. Celem dokonywania pomiarów w laboratorium badawczym jest weryfikacja właściwości wyrobu w trakcie badań typu, tj. wyłącznie przyrzędu niezależnego. Przeciwnie, pomiar właściwości RCD w trakcie weryfikacji ma na celu uzyskanie **pełnej informacji o (niespełnieniu) warunków bezpieczeństwa w instalacji**, w której ma być zastosowane urządzenie RCD.

W trakcie weryfikacji sprawdzane jest spełnienie warunków bezpieczeństwa instalacji elektrycznych. Ważnym krokiem jest pomiar parametrów podstawowych, w tym prądów wyzwalających i niewyzwalających RCD. **Wymagania dotyczące kontroli są określone w normie IEC 60364-6: Sprawdzenie (2007)**. Weryfikacja skuteczności zabezpieczeń w przypadku awarii w wyniku automatycznego odłączenia od sieci odbywa się poprzez weryfikację charakterystyki RCD oraz pomiaru impedancji pętli zwarcia. Brzmienie norm regulujących weryfikację różni się w zależności od krajowych odstępstw, które należy wziąć pod uwagę.

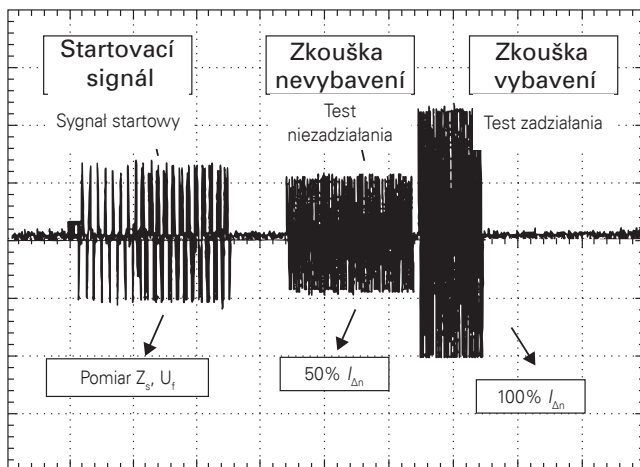
Procedury pomiaru w przyrządach pomiarowych przeznaczonych do kontroli są określone przez wymagania norm produktowych dla RCD, a ich konstrukcja podlega wymaganiom określonym przez normę regulującą projektowanie urządzeń kontrolnych (EN 61557-6). Metoda pomiaru zależy od rozwiązań różnych producentów.



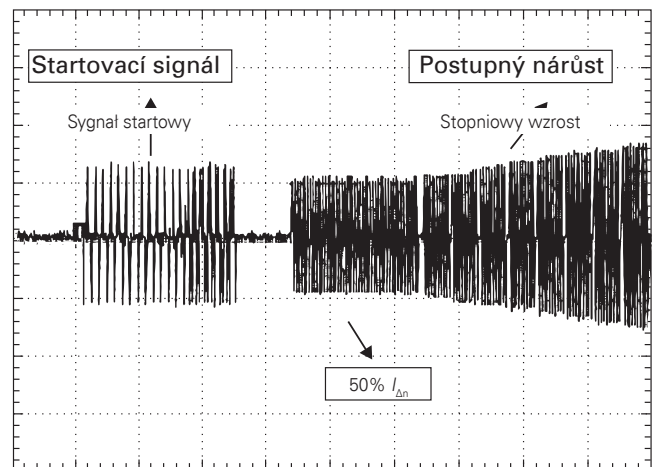
Rys. 72 Zasada pomiaru prądu różnicowego i napięcia dotykowego w sieci TN

Uwaga:

Dokładność pomiaru we wszystkich nowych urządzeniach pomiarowych musi być zgodna z wymaganiami normy dla urządzeń kontrolnych (zestaw norm EN 61557) i odpowiada celowi, dla którego przeprowadzany jest pomiar. Jeżeli pomiar w trakcie weryfikacji odbywa się w kilkuletniej przerwie, nie ma sensu nalegać na wysoką dokładność i prowadzić długich dyskusji na temat możliwych przyczyn niewielkich odchyłek ujawnionych wartości czasów zadziałania i prądów od najnowszego pomiaru. Dodatkowo często różnią się również wyniki uzyskane z dwóch przyrządów pomiarowych, co wynika z zastosowanej metody pomiarowej. Z punktu widzenia bezpieczeństwa o wiele ważniejsze jest, aby za pomocą przycisku testującego przeprowadzać regularne kontrole działania, co da wyraźny wynik wyzwalania/niewyzwalania wyłącznika.



a) Pomiar impedancji pętli za pomocą bardzo niskiego prądu, czas zadziałania przy $I_{\Delta n}$ i $5 I_{\Delta n}$



b) Pomiar prądu wyzwalającego

Rys. 73 Przykłady przepływu prądów pomiarowych urządzenia połączonego

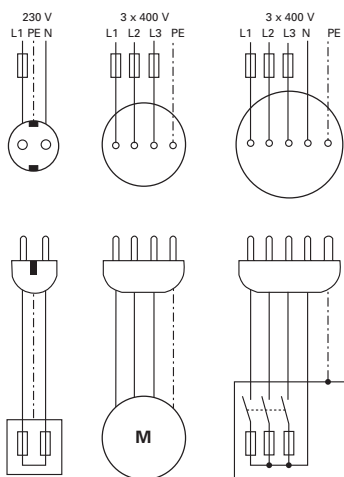
9. Przyłącza w instalacjach

Podstawowe zasady instalacji RCD są następujące:

- wszystkie przewody pod napięciem niezbędne do działania urządzenia muszą przechodzić przez RCD;
- Przewodów pod napięciem za RCD nie wolno podłączać do przewodów pod napięciem po kolejnym RCD;
- zabezpieczone części przewodzące narażone na działanie czynników zewnętrznych muszą być uziemione;
- przewód ochronny (PE, PEN) nie może przechodzić przez RCD; wyjątki dopuszczalne są tylko w szczególnych przypadkach (patrz Rys. 44);
- podział przewodu PEN w sieci TN-C na oddzielne żyły PE i N należy przeprowadzić przed RCD - jest konieczna konwersja sieci TN-C na TN-C-S;
- przewody PE i N po RCD nie mogą być ponownie podłączone
- jest to przyczyną częstych problemów z niepożądanym zadziałaniem;
- przed oddaniem do użytku należy przetestować RCD, w tym sprawdzić separację przewodów PE i N.

9.1 Niekompletna liczba przewodów pod napięciem

Funkcje niektórych urządzeń trójfazowych nie wymagają przewodu neutralnego (silniki asynchroniczne) lub są przeznaczone tylko do pracy na dwóch fazach. Niektórzy inżynierowie elektrycy pytają, czy brakujący przewód N nie spowoduje niepożądanego zadziałania RCD. Odpowiedź jest prosta - jeżeli po RCD w obwodzie nie występuje prąd różnicowy, to liczba obciążonych przewodów nie będzie miała wpływu na działanie RCD.



*) niepodłączony przewód neutralny lub jeden z przewodów fazowych nie ma wpływu na bezpieczeństwo i prawidłowe działanie RCD.

Rys. 74 Przyłącze wtyczek i gniazd w instalacjach z rozdzielnicą trzy-, cztero- i pięciożyłową

9.2 Stałe prądy upływu

Każde urządzenie lub instalacja elektryczna wykazuje określony poziom stałego prądu upływowego, który zależy od jakości izolacji urządzenia elektrycznego, jego konstrukcji, starzenia się oraz od wpływu czynników zewnętrznych (wilgotność, ciepło ...).

Podstawowe dane dotyczące wartości zmiennych prądów upływowych zawarte są w normie IEC/EN 61140 ed. 2 [18], na podstawie której producenci powinni stosować poniższe wartości graniczne:

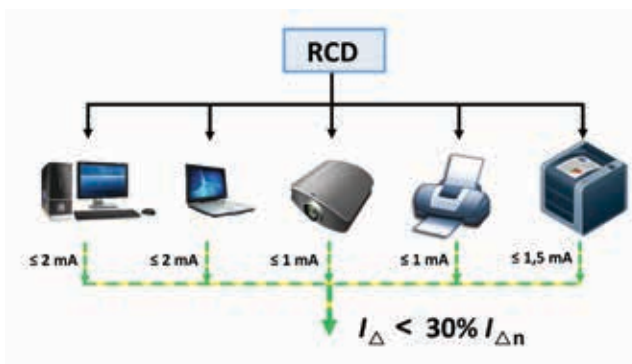
a) Urządzenia elektryczne wtyczkowe podłączone do gniazd 1 lub 3-fazowych o prądzie do 32A włącznie:

Prąd obciążenia I_n	Max. prąd upływu dla PE
do 4 A	2 mA
4 A do 10 A	0,5 mA/A
powyżej 10 A	5 mA

b) Urządzenia elektryczne podłączone na stałe oraz nieprzenośne urządzenia o prądzie powyżej 32A:

Prąd obciążenia I_n	Max. prąd upływu dla PE
do 7 A	3,5 mA
7 A do 20 A	0,5 mA/A
powyżej 20 A	10 mA

c) Urządzenia podłączone na stałe przeznaczone do podłączenia ze wzmocnionym uziemieniem dla prądów powyżej 10mA [18]. Przewód miedziany o przekroju co najmniej 10 mm² lub 16 mm² Al jest zalecany jako wzmocniony przewód ochronny. W takich przypadkach stosowanie RCD o czułości do 30 mA jest ograniczone lub całkowicie wykluczone.



Rys. 75 Prąd upływowy urządzeń biurowych

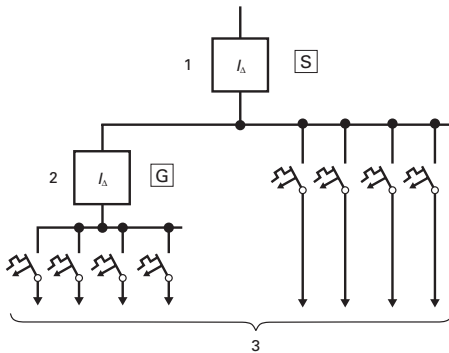
- drukarki 0,5- 1 mA
- kopiarki 0,5- 1,5 mA
- filtry, światła 1 mA

We wszystkich instalacjach, w których występuje wyższy poziom prądów upływowych, należy zapewnić ich ciągłą kontrolę. Korzystne jest zastosowanie cyfrowego RCD z wbudowanym wskaźnikiem sygnału i możliwością zdalnej sygnalizacji przekroczenia wartości prądu różnicowego (50% $I_{\Delta n}$).

9.3 Grupowanie obwodów za jednym wyłącznikiem różnicowoprądowym RCD

Już na etapie projektowania należy wziąć pod uwagę zakres montażu i optymalny sposób podłączenia. Z punktu widzenia ochrony przed porażeniem, na początku całej instalacji można zastosować jeden czuły RCD, ale takie rozwiązanie wiązałoby się z wieloma komplikacjami:

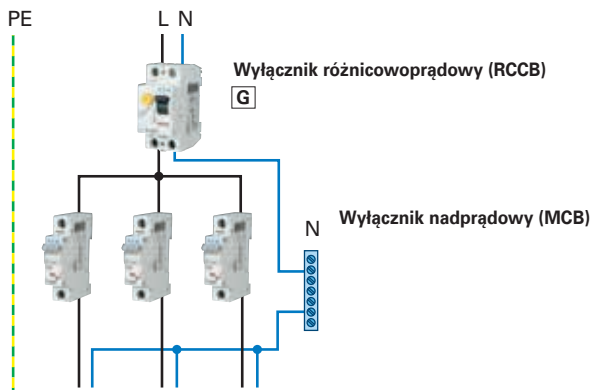
- w przypadku awarii w dowolnym obwodzie, cała instalacja zostanie odłączona po zadziałaniu wyłącznika RCD;
- w przypadku jakiegokolwiek usterki w podłączeniu przewodów neutralnych zadziała wspólny główny RCD;
- podczas wyszukiwania błędów w okablowaniu należy wyłączyć całą instalację;
- prądy upływu sumują się w instalacji; każdy dodatkowy prąd upływu może spowodować zadziałanie wyłącznika RCD.



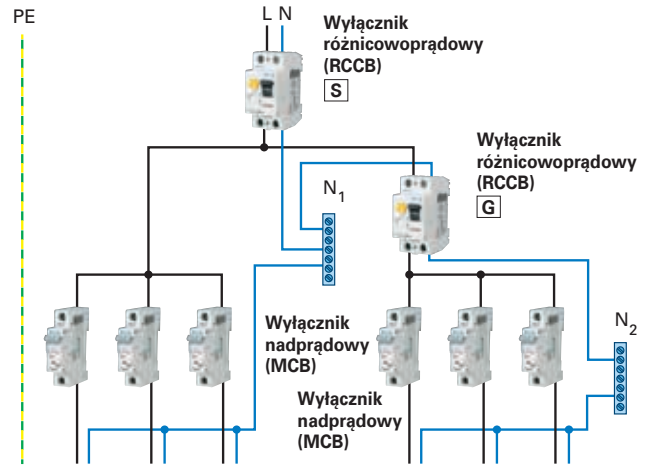
- 1- selektywny RCD na wejściu
- 2- obwody zgrupowane po RCD typu G
- 3- podział obwodów według ważności obciążenia

Rys. 76 Zalecana koordynacja pomiędzy wyłącznikami instalacyjnymi i wyłącznikami RCD 4]

Odporność na niepożądane zadziałanie w przypadku układów zgrupowanych za jednym RCD ulegnie znacznej poprawie, gdy układy zostaną podzielone na różne grupy. Rysunek 76 przedstawia możliwe podłączenie w instalacji w gospodarstwie domowego. Na wejściu stosowany jest typ selektywny o czułości 300 mA, zapewniający jednocześnie ochronę przeciwpożarową. W większości obwodów gniazdowych wymagane jest dodatkowe zabezpieczenie przez czuły RCD (30 mA). Wybór typu G zapewnia wysoką odporność na niepożądane zadziałanie. W przypadku zwarcia za wyłącznikiem, ze wstępnym opóźnionym RCD typu G, zwarcie takie jest zazwyczaj odłączane przez wyłącznik w ciągu maksymalnie 10 ms (wyzwolenie czułości zależy od wartości prądu zwarcia).



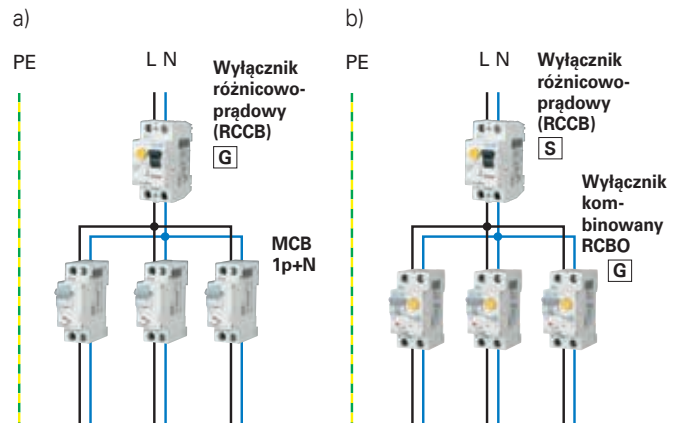
Rys. 77 Grupowanie obwodów za jednym wyłącznikiem różnicowoprądowym RCD



Rys. 78 Selektywne grupowanie obwodów za wyłącznikiem RCD

W tym czasie opóźniony RCD jest nieaktywny i nie występuje usterka jednego z obwodów w pozostałej części instalacji. Obwody oświetleniowe i dedykowane gniazda (lodówki, zamrażarki, pompy grzewcze, serwery komputerowe) nie mają dodatkowej ochrony. Przykładowym rozwiązaniem kompromisowym jest typowa instalacja mieszkaniowa. Doświadczenie praktyczne pokazuje, że na przykład w przypadku domu jednorodzinnego lub większego mieszkania optymalna liczba RCD wynosi od 3 do 5, co wystarcza do odpowiedniego podziału niezależnych części instalacji.

Ulepszoną metodą ochrony jest zastosowanie RCD z rozłączanym torem N (Rysunek 79). Jego zaletą jest odłączenie wszystkich przewodów roboczych (1+N, 2+N, 3+N) oraz łatwiejsza lokalizacja usterek w instalacji, gdzie poszczególne obwody muszą być odłączane jeden po drugim, łącznie z przewodami neutralnymi. Kilka lat temu praktyka ta została przyjęta w Austrii i przyniosła bardzo dobre rezultaty. Innym ulepszeniem jest zastosowanie niezależnych połączonych wyłączników kombinowanych (RCBO) o czułości $I_{\Delta n} \leq 30 \text{ mA}$ dla różnych gniazd.

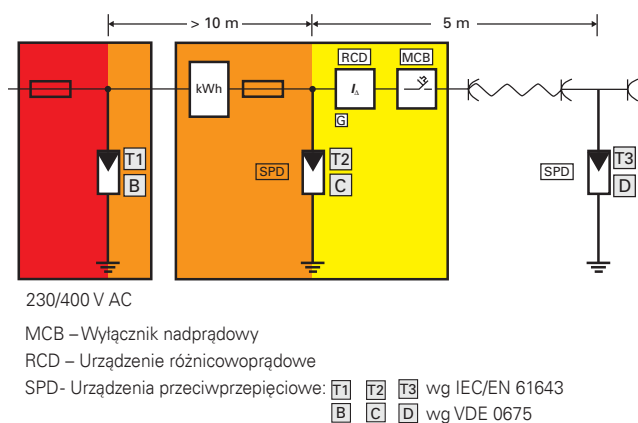


Rys. 79 Zastosowanie wyłączników 1+N i 3+N lub połączonych wyłączników kombinowanych (RCBO) za wspólnym RCD

9.4 Koordynacja z urządzeniami przeciwprzepięciowymi (EMC)

Efekty prępieć w instalacjach budowlanych eliminowane są za pomocą ograniczników prępieć. Na wejściu do instalacji napięcie obniżone za ogranicznikiem prępieć klasy I (klasa B w standardzie VDE) nie może przekraczać wartości 4kV; dla klasy II (odpowiednio klasy B) granica ta wynosi 1,5 kV. **Z perspektywy RCD każdy prąd upływu uziemienia jest określany jako prąd różnicowy, w związku z czym po RCD nie przewiduje się stosowania ochronników prępieciowych.**

Zalecane połączenie instalacji z RCD i urządzeniami ochrony przeciwprępieciowej przedstawia Rysunek 80. W obwodach gniazdowych z RCD o czułości 30 mA należy stosować typ G o krótkotrwałym opóźnieniu i wytrzymałości do 3 kA. Do ochrony części przewodzących narażonych na działanie czynników zewnętrznych należy stosować selektywne typy S o wytrzymałości do 5 kA. Zwykle wartości znamionowych prądów impulsowych ograniczników prępieciowych klasy II (C) wynoszą od 10 do 25 kA, dla ograniczników prępieciowych klasy III (D) wartość ta wynosi od 1,5 do 3 kA. Oznacza to, że wytrzymałość całej instalacji zależy od wytrzymałości wyłącznika RCD.



Rys. 80 Koordynacja RCD i urządzeń ochrony przeciwprępieciowej

Uwaga:

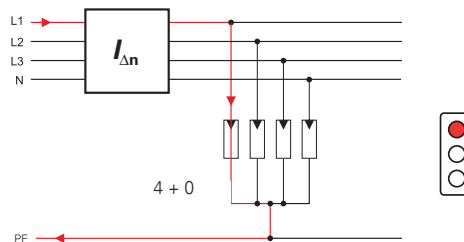
EMC - Kompatybilność elektromagnetyczna. Warunki testowe i kryteria EMC są podane w Normie EMC dla RCD (IEC 61543 [20]).

Rysunek 81 przedstawia typowe oprzewodowanie przewodów (przyłącze 4+0). Jego zaletą jest prostota, wadą gorsze właściwości ochronne, w związku z czym połączenie to nie jest zalecane. Kolejną wadą jest wyższe napięcie pomiędzy przewodami, które równa się dwukrotnemu napięciu obniżanemu różnych urządzeń ochrony prępieciowej. Ochrona prępieciowa przewodów pod napięciem jest ważniejsza niż redukcja napięcia do uziemienia.

Rysunek 82 przedstawia połączenie z dzieloną przerwą iskrową pomiędzy przewodami N i PE, oznaczoną 3+1 (dla okablowania jednofazowego 1+1). Jego zaletą jest redukcja prądu płynącego przez iskiernik do ziemi. Prępiecia pomiędzy przewodami roboczymi są ograniczane głównie przez urządzenia ochrony prępieciowej, które są połączone pomiędzy fazami i przewodem neutralnym. Iskiernik pomiędzy przewodem neutralnym a ochronnym pracuje tylko wtedy, gdy napięcie na przewodzie N przekroczy granicę napięcia zapłonu. W normalnych warunkach zapewnia to wysoką rezystancję izolacji pomiędzy przewodami PE i N.

W zależności od warunków ochrony przed porażeniem prądem elektrycznym należy zastosować albo opóźniony RCD typu G albo na początku instalacji, aparat typu S (ochrona części przewodzących narażonych na działanie czynników zewnętrznych).

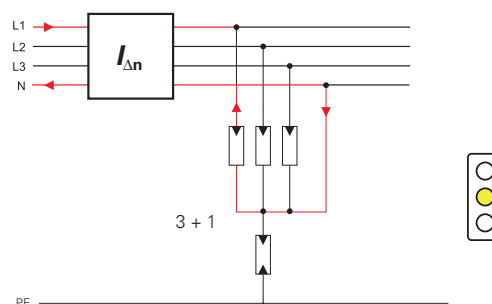
Zasada ta jest obecnie stosowana w większości urządzeń przeciwprępieciowych klasy III (D) do ochrony urządzeń jednofazowych w okablowaniu 1+1, co korzystnie wpływa na niepożądane zadziałanie czułych urządzeń różnicowoprądowych. W związku z tym należy stwierdzić, że ze względu na trudności w koordynacji urządzeń ochrony przeciwprępieciowej z urządzeniami RCD, **urządzenia ochrony przeciwprępieciowej powinny być instalowane wyłącznie przed urządzeniami RCD** (zob. również załącznik IEC 60364-5-534). Jeżeli za RCD muszą być stosowane urządzenia ograniczające prępiecia, to wytrzymałość na prępiecia zależy od wytrzymałości RCD (typ G do 3 kA, typ S do 5 kA).



Niezalecane połączenie!

Każdy prąd przepływający przez zabezpieczenie przeciwprępieciowe jest jednocześnie prądem różnicowym!! Zalecane stosowanie wyłączników RCD o podwyższonej wytrzymałości na prądy prępieciowe- typy G lub S.

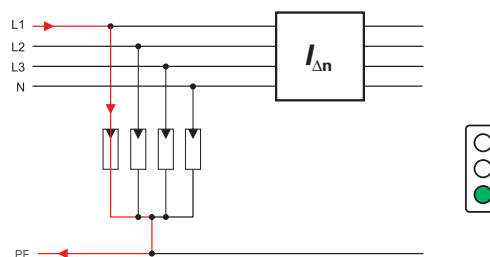
Rys. 81 Urządzenia przeciwprępieciowe w okablowaniu 4+0 (1+0)



Niezalecane połączenie!

3+1 dla instalacji 3-fazowych, 1+1 dla instalacji 1-fazowych
Tylko prąd przechodzący przez iskiernik sumujący jest prądem różnicowym. Zalecane stosowanie wyłączników RCD o podwyższonej wytrzymałości na prądy prępieciowe- typy G lub S.

Rys. 82 Urządzenia przeciwprępieciowe w okablowaniu 3+1 (1+1)



Zalecane połączenie.

Urządzenia przeciwprępieciowe typu II (C) są niezbędne do podłączenia przed RCD.

Rys. 83 Urządzenia przeciwprępieciowe podłączone przed RCD

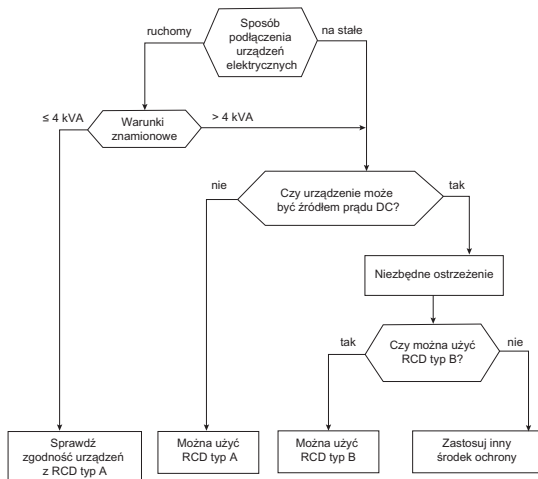
9.5 Zastosowanie wyłączników różnicowoprądowych RCD typu AC, A i B

Urządzenia elektryczne zawierające prostowniki i półprzewodnikowe elementy łączeniowe mogą, w przypadku awarii, pobierać prąd różnicowy ze składnikami prądu stałego. Oceniając możliwe ryzyko awarii RCD, należy określić, jaki typ i czułość są rzeczywiście niezbędne. Jednym z kryteriów wyboru jest rodzaj zabezpieczenia, to znaczy zabezpieczenie urządzeń klasy I w przypadku awarii, gdzie czułość RCD nie jest krytyczna lub też zabezpieczenie dodatkowe, gdzie wymagana czułość wynosi 30 mA.

W **instalacjach gospodarstwa domowego** uwzględnia się tylko typy AC i A RCD. Obecnie rośnie liczba krajów, w których w nowych instalacjach dozwolone są tylko typy A. Typ A jest preferowany w nowych instalacjach, stanowi on lepsze rozwiązanie.

Sytuacja jest coraz bardziej skomplikowana w **instalacjach przemysłowych**, gdzie coraz częściej stosowane są przetworniki częstotliwości do sterowania prędkością silników asynchronicznych, a także w instalacjach elektrowni fotowoltaicznych (przetwornice DC/AC). W takich przypadkach producenci przetworników i przetworników częstotliwości są zobowiązani do poinformowania o możliwości generowania prądów różnicowych i w idealnym przypadku do podania rodzaju RCD, jaki należy zastosować. Jeśli takie informacje nie są podane w instrukcji obsługi, należy je uzyskać od producenta. Niestety, zazwyczaj nie można uzyskać żadnych konkretnych informacji, jedyną informacją podawaną jest następująca „RCD typu B powinien być stosowany w przypadku, gdy podczas awarii może wystąpić prąd stały”. W większości przypadków nie jest jednak oczywiste, jak urządzenie będzie reagować w przypadku ewentualnej awarii, a poprawne informacje mogą być dostarczone tylko przez producenta. Jaki rodzaj RCD powinien być zastosowany?

Norma IEC/EN 50178-**Dobłą wytyczną** jest sprzęt elektroniczny, który zawiera opis zastosowań z elementami zasilającymi oraz instrukcje dotyczące możliwych rozwiązań przedstawione na **Rysunku 84**. Podane wartości wyjściowe do 4 kVA dla połączeń ruchomych mają charakter wyłącznie informacyjny (np. wersja niemiecka VDE 0160 podaje prąd urządzenia do 16 A). W przypadku mniejszych urządzeń z ruchomym przewodem zasilającym spodziewa się ich ręcznego montażu, co stanowi istotne kryterium wyboru czułości RCD (30 mA). Czułość 300 mA jest zwykle używana dla urządzeń stacjonarnych klasy I. Przemienne korzystające z mostków sześćo-pulsowych, podłączone bezpośrednio do trójfazowej sieci zasilającej, służą do sterowania wyższymi mocami. W takich przypadkach wymagane są RCD typu B (patrz IEC/EN 61008 i IEC/EN 62423).



Rys. 84 Schemat oprzewodowania w celu określenia wymagań użytkownika urządzeń elektrycznych po wyłącznikach RCD

	Schemat z możliwą usterką	Przebieg prądu obciążenia I _L	Przebieg prądu różnicowego I _r	Typ wyłącznika RCD			
				AC	A	F	B
1	Phase control			•	•	•	•
2	Burst control			•	•	•	•
3	Single-phase				•	•	•
4	Two-pulse bridge				•	•	•
5	Two-pulse bridge, half controlled				•	•	•
6	Frequency inverter with two-pulse bridge					•	•
7	Single-phase with smoothing						•
8	Frequency inverter with two-pulse bridge and PFC						•
9	Two-pulse bridge between phases						•
10	Frequency inverter with two-pulse bridge between phases						•
11	Three-phase star						•
12	Six-pulse bridge						•
13	Frequency inverter with six-pulse bridge						•

Tab. 11 Możliwe prądy różnicowe w układach z półprzewodnikami i przykład koordynacji różnych rodzajów RCD [14]

Zastosowanie wyłączników różnicowoprądowych RCD typu AC i A

RCD typu AC znajdują zastosowanie w instalacjach, w których występują tylko elementy pasywne (rezystory, cewki, kondensatory), wykluczające występowanie prądów stałych. Urządzenia z potężnymi półprzewodnikami mogą, w przypadku usterki, generować prądy różnicowe z składową stałą. W takich przypadkach należy stosować RCD typu A, zdolne do niezawodnego działania również w przypadku jedno-półokowego prostowania, gdy prąd przechodzi przez zero lub jest blisko niego w przypadku składowej prądu stałego 6 mA (patrz Rys. 25). Dla typu F, przeznaczonego dla obwodów z przetwornikiem częstotliwości, granica składowej prądu stałego wynosi 10 mA.

Zastosowanie RCD typu B

Typ B musi być stosowany w obwodach z kondensatorami wygładzającymi o uzgodnionej wartości składowej prądu stałego (6 mA dla typu A, 10 mA dla typu F). Dotyczy to prawie wszystkich urządzeń elektrycznych z energoelektroniką w układzie trójfazowym bez separacji galwanicznej (transformator). Dotyczy to przetworników częstotliwości o większej mocy, zasilaczy awaryjnych średniej mocy (UPS), urządzeń spawalniczych itp. Producenci sprzętu elektrycznego powinni ostrzegać przed taką sytuacją, ponieważ posiadają szczegółową wiedzę na temat konstrukcji swoich produktów. Obowiązek ten jest również związany z normą IEC/EN 50178 [23].

Obecnie dostępne są różne alternatywy dla RCD, jak opisano poniżej:

- **typ B:** do ogólnego zastosowania w obwodach o częstotliwości do 1 kHz lub zgodnie z zaleceniami producenta (np. do 2 kHz) według IEC/EN 62423, IEC 60755
- **typ Bfq:** wersja specjalna dla przetworników częstotliwości do 20 kHz, o czułości do 300 mA; wg IEC/EN 62423;
- **typ B+:** wersja specjalna przeznaczona do ochrony przeciwpożarowej, o czułości do 420 mA; parametry definiowane wg normy niemieckiej VDE 0664-400;

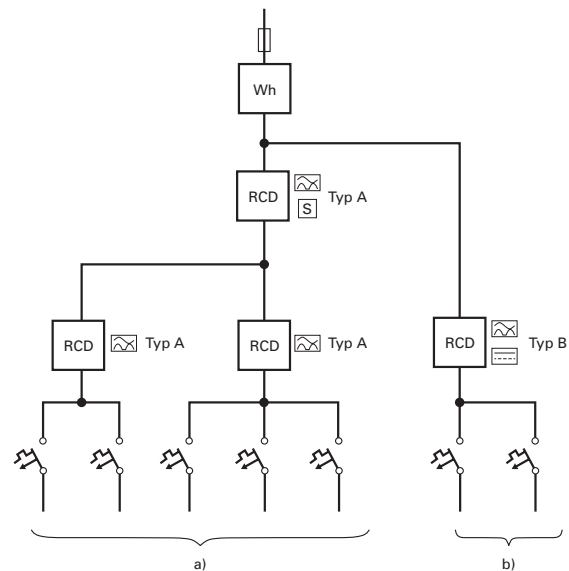
W przypadku gdy dokumentacja nie zawiera żadnych szczególnych informacji, należy zwrócić się do producentów o ich dostarczenie. Wszakże jeśli nie można uzyskać wiarygodnych informacji, jedynym możliwym rozwiązaniem jest ocena takiego sprzętu elektrycznego na podstawie dostępnych danych i postępowanie zgodnie z instrukcjami na Rysunku 84.

Jeśli znany jest sposób podłączenia urządzeń elektrycznych (patrz Tab. 11), obowiązują następujące podstawowe zasady wyboru:

- **typu AC wyłącznika RCD nie wolno stosować razem z przetwornikami częstotliwości**, ponieważ prądy różnicowe nie są wyłącznie przemienne.
- **prostowniki jednofazowe** (przetworniki częstotliwości, przetworniki fotowoltaiczne, UPS) wykorzystują czteroimpulsowe połączenie, a prąd roboczy jest połączeniem prądu stałego zmiennego i pulsującego. Pulsacyjny prąd stały dotyka zera pomiędzy dwoma impulsami lub składowa prądu stałego nie przekracza wartości 6 mA (10 mA dla typu F), co oznacza, że w przypadku usterki rdzeń przekładnika prądowego nie zostanie namagnesowany(nasycony) stałym prądem różnicowym. W związku z tym można stosować typ A, ale najodpowiedniejszy jest oczywiście wybór **typu F lub U**, które są specjalnie zaprojektowane w tym celu.

- **prostowniki trójfazowe** (przetworniki częstotliwości, UPS) wykorzystują sześć-pulsowe prostowanie. Prąd różnicowy nie przechodzi przez zero, co może spowodować nadmierne nasycenie RCD spowodowane wyprostowanym prądem różnicowym. Należy zatem **zastosować typ B (Bfq, B+)**

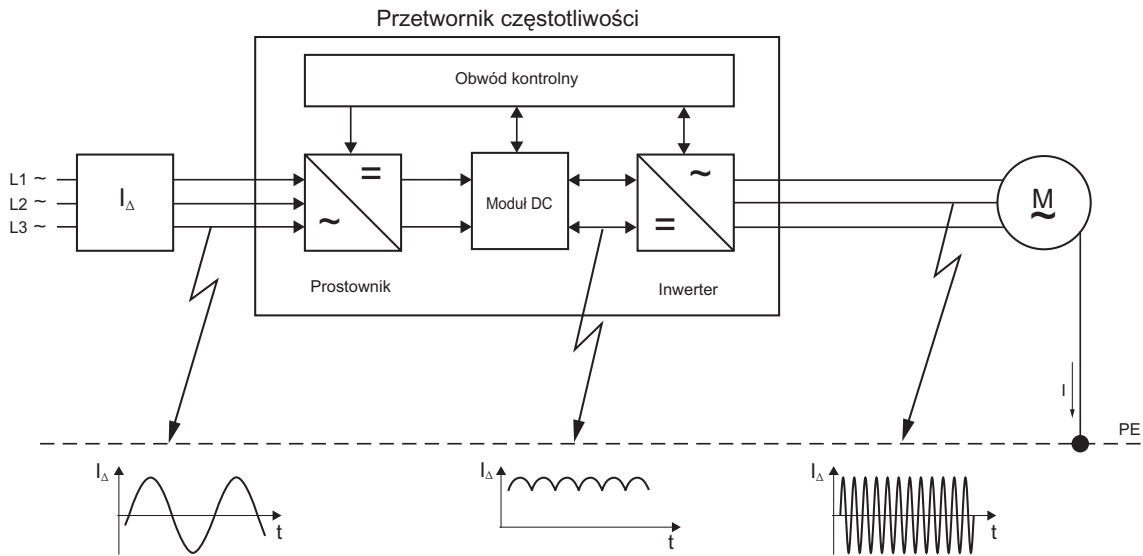
Rysunek 85 przedstawia kombinację różnych typów RCD w instalacjach przemysłowych. RCD typu A lub AC nie może być umieszczony przed RCD typu B. Podobnie, nie wolno umieszczać typu AC przed typem A.



Rys. 85 Przykład prawidłowej koordynacji RCD, typu A i B

RCD w obwodach z przetwornikiem częstotliwości

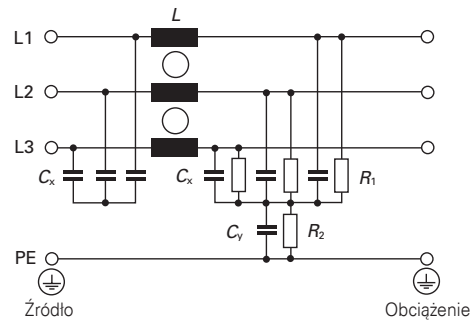
Zasada działania przetwornika częstotliwości określona jest na Rysunku 86. Napięcie o częstotliwości sieciowej jest prostowane i energia elektryczna jest gromadzona na pośrednim obwodzie prądu stałego (DC). Na podstawie danych wyjściowych prostowniki są projektowane jako jednofazowe, dwufazowe lub trójfazowe. Określa to również, czy możliwe jest zastosowanie RCD typu A (F, U, ...), czy też należy użyć typu B (patrz Tabela 11). Napięcie stałe uzyskane na obwodzie pośredniego prądu stałego jest przekształcane na napięcie zmienne za pomocą inwertera z modulacją częstotliwości impulsowej. Częstotliwość zegara jest zwykle w jednostkach lub dziesiątkach kiloherców. Ze względu na indukcyjność silników, prąd obciążenia zmienia harmoniczny kształt fali, który może zbliżyć się do fali czysto sinusoidalnej. W celu zwiększenia indukcyjności, a tym samym jakości regulacji, stosowane są filtry sinusoidalne. W przypadku awarii silnika asynchronicznego generowane są prądy różnicowe o zmiennej szerokości impulsu i częstotliwości odpowiadającej częstotliwości zegara. Z powodu nieharmonicznego kształtu fali na wyjściu konwertera należy uwzględnić przynajmniej najważniejsze harmoniczne (3 i 5 harmoniczna). RCD musi być w stanie reagować na nie, ale jednocześnie musi być zgodny z ograniczającymi prądami wyzwalającymi. W zależności od przeznaczenia, urządzenia te są zwykle przeznaczone do ochrony przeciwpożarowej (300 mA) lub ochrony osób (zgodnie z IEC/TC 60479-2: Wpływ prądu na ludzi przy wyższych częstotliwościach). Problemy z niepożądanym zadziałaniem można uniknąć poprzez odpowiedni dobór typu RCD. Problem ten należy rozwiązać już na etapie projektowania, aby uniknąć późniejszych problemów podczas oddawania do eksploatacji, kiedy wszelkie późniejsze działania są kosztowne.



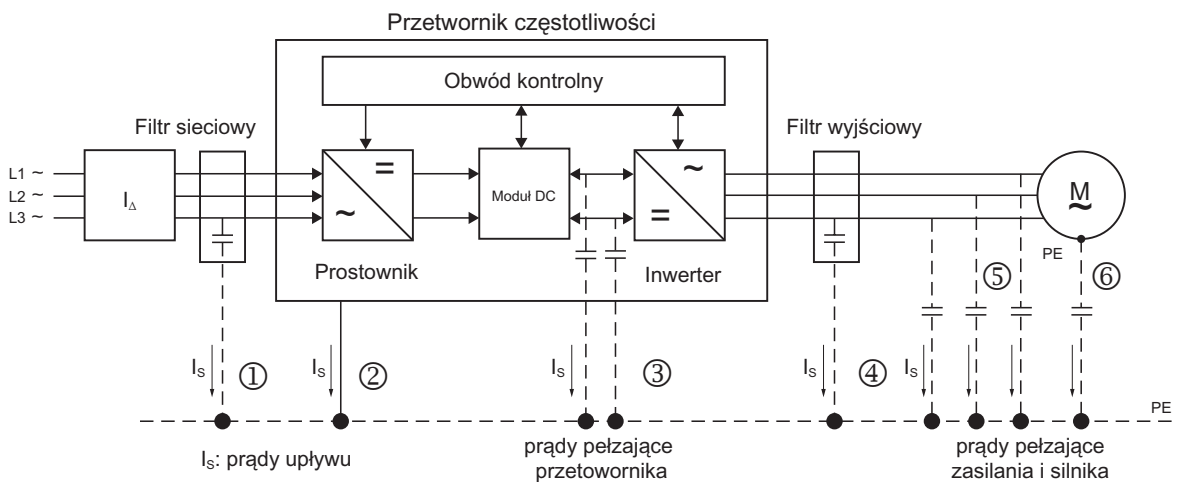
Rys. 86 Wystąpienie bezpośredniego upływu w obwodzie z przetwornicą częstotliwości z zasilaniem trójfazowym

Prądy upływowe uziemienia o wyższych częstotliwościach

W celu zapewnienia warunków tłumienia zakłóceń (EMS) w przetworniku częstotliwości należy stosować filtry interferencyjne. Z coraz większą częstotliwością wykazują one negatywny wpływ na kondensatory podłączone do przewodu ochronnego. Wysokie wartości prądów upływowych ograniczają lub czasami nawet wykluczają stosowanie RCD. Ogólnie rzecz ujmując, suma prądów upływowych nie powinna przekraczać wartości prądu niewyzwalającego (tj. 50 % $I_{\Delta n}$), zalecana wartość graniczna wynosi do 30 %. Podłączanie kondensatorów do przewodów ochronnych jest częste, ale najmniej odpowiednie. Wspecjalizowani producenci filtrów interferencyjnych oferują typy z minimalizacją prądów upływowych, które są przeznaczone dla obwodów za RCD. Szczegóły dotyczące wartości prądów upływu zostaną podane przez producenta. Ewentualne połączenie przedstawiono w następujących tabelach Rysunek 87.



Rys. 87 Przykład podłączenia filtra przy ograniczonym występowaniu prądu różnicowego



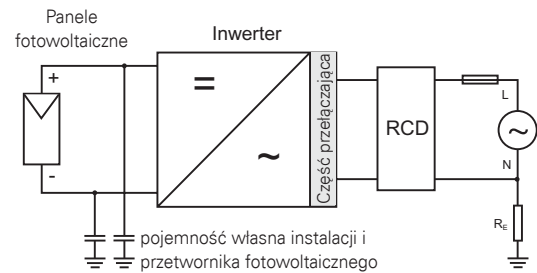
1 filtr EMC, 4 filtr po stronie obciążenia, 5 ekranowany przewód za przetwornikiem częstotliwości, 6 silnik

Rys. 88 Typowe przyczyny powstawania prądów upływowych w obwodach z przetwornikiem częstotliwości

Obecnie w poniższych normach znajduje się odniesienie do stosowania RCD typu B:

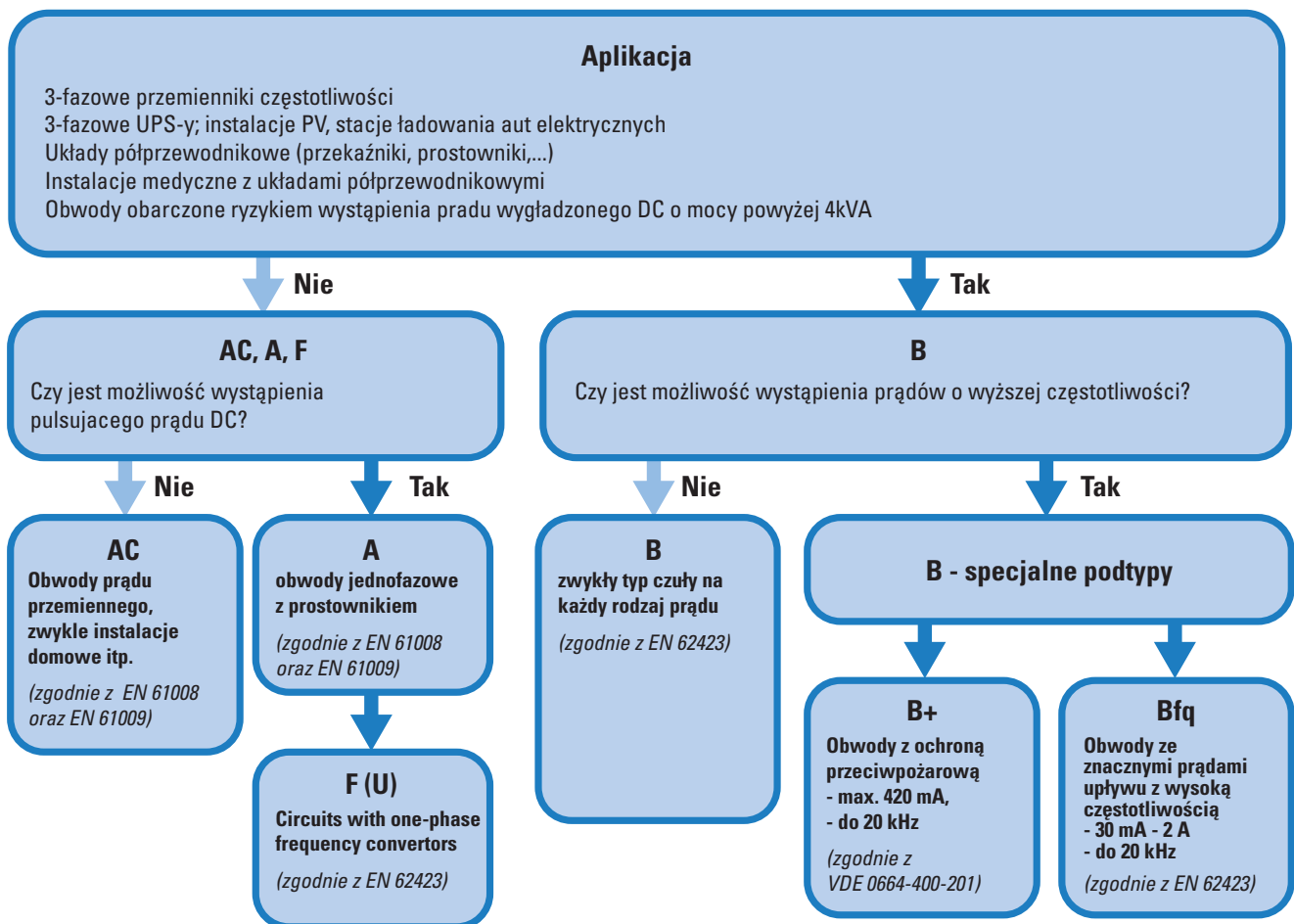
- IEC 60364-5-53- Aparatura rozdzielcza i sterownicza
- IEC 60364-7-704 - Instalacje do budowy i rozbiórki obiektów budowlanych
- IEC 60364-7-710 - Instalacje elektryczne w pomieszczeniach medycznych (nieodzwolony jest typ AC)
- IEC 60364-7-712- Systemy zasilania energią słoneczną fotowoltaiczną (PV) (zaleca się stosowanie typu B+) *)
- IEC 60364-7-723- Ogrzewanie podłogowe

*) Celem zastosowania RCD typu B/B+ jest zabezpieczenie przed prądami upływowymi i pożarami. W przypadku gdy nie jest stosowana separacja elektryczna między stroną prądu stałego i przemiennego (bez transformatora separacyjnego), po stronie zasilania po stronie przemiennym wymagane są RCD typu B lub monitory różnicowoprądowe (RCM).



Rys. 89 Zastosowanie RCD typu B po stronie prądu zmiennego

Jaki typ RCD wybrać?



Rys. 90 Pomoc przy wyborze typów RCD

10. Rozwiązywanie problemów

Istnieją dwa rodzaje problemów związanych z nieprawidłowym zachowaniem się RCD: RCD nie uruchamia się lub uruchamia się, gdy nie powinien.

A) Niedziałający RCD

Uszkodzenie	Rozwiązanie
Awaria RCD	Niezbędny jest pomiar miernikiem i ewentualna wymiana
Do zadziałania wyzwalacza potrzebna jest większa wartość prądu różnicowego, ale przy drugim pomiarze RCD działa już prawidłowo	Typowa usterka wynikająca z braku regularnej kontroli działania przyciskiem kontrolnym; konieczna wymiana
Niedziałający przycisk testujący	Sprawdzić stan izolacji przewodów N i PE i w zależności od sytuacji wymienić urządzenie (zwykle opornik przepalony z powodu błędów w podłączeniu)
Urządzenie nie reaguje na prądy różnicowe z powodu wysokich wyprostowanych prądów różnicowych DC	Należy sprawdzić oddziaływanie urządzeń energoelektronicznych znajdujących się w pobliżu i zastosować odpowiednią wersję (typ B+, Bfq)
Sklejenie lub adhezja styków RCCB	Skutki nadmiaru prądu, konieczna kontrola dobezpieczenia; wymiana

B) Niezamierzone zadziałanie RCD:

Najczęstszymi przyczynami są:

- brak selektywności
- stałe prądy upływowe w instalacjach;
- wysokie prądy upływowe w filtrach interferencyjnych w obwodach o wyższych częstotliwościach;
- wpływ ograniczników przepięć;
- udarowe przepięcia łączeniowe;
- błędy w połączeniu.

10.1 Błędy połączeń

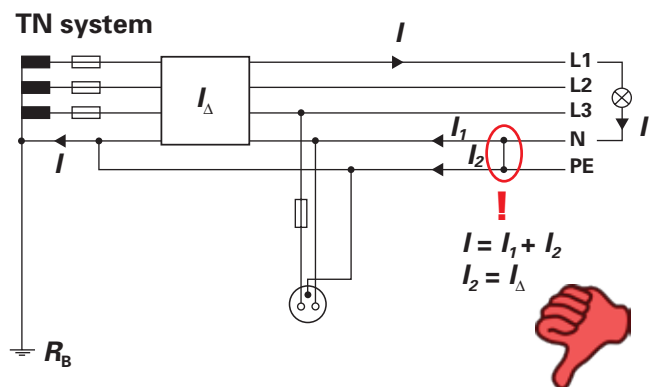
Główne przyczyny niepożądanego zadziałania:

- jednoczesne połączenie przewodów PE i N,
- połączenie obwodu przewodu N z innym blokiem N,
- połączenie poszczególnych przewodów N do wspólnych bloków N,
- złe ustawienie przewodów roboczych,
- zbyt duża instalacja po RCD- wpływ prądu upływowego.

Najczęstszą przyczyną niepożądanego zadziałania jest podłączenie przewodów PE i N po RCD (Rysunek 91). Usterka ta jest najczęściej wykrywana podczas aktywacji urządzenia, po czym następuje natychmiastowe zadziałanie. Weryfikacja separacji obu przewodów jest łatwa i polega na pomiarze stanu izolacji, gdy RCD jest wyłączony, jak pokazano na rysunkach poniżej Rysunek 92.

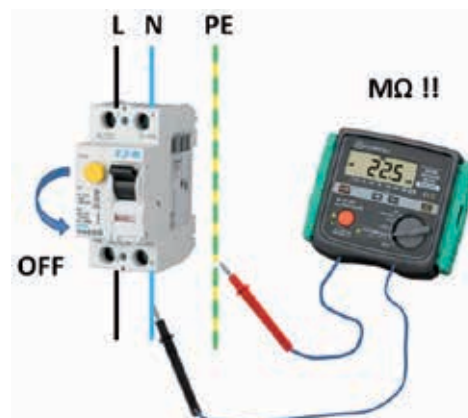
Towarzyszącym objawem podłączonych przewodów PE i N jest również fakt, że po naciśnięciu przycisku TEST nie można wyzwolić odpowiedniego RCD. W przypadku próby zadziałania urządzenia przez dłuższe, kilkunastosekundowe wciśnięcie przycisku testowego, wynikiem tego będzie uszkodzenie opornika wewnątrz wyłącznika RCD, ponieważ element ten jest przeznaczony tylko do krótkich czasów zadziałania. Przyczyną tego pozornie niewyjaśnionego objawu jest fakt, że połączenie przewodów PE i N po wyłączniku różnicowoprądowym tworzy zwartą cewkę pomiędzy przewodami N i PE, stanowiąc część testowego przepływu prądu poza przekładnikiem prądowym. Pozostała część prądu testowego jest w większości przypadków niewystarczająca do zadziałania urządzenia. Mogą jednak wystąpić przypadki, w których po podłączeniu przewodów

PE i N po RCD naciśnięcie przycisku testującego nadal spowoduje wyzwolenie urządzenia. Wystąpi to przy stosunkowo wysokiej impedancji powstałej zwartej cewki przed znacznym znieczuleniem RCD.

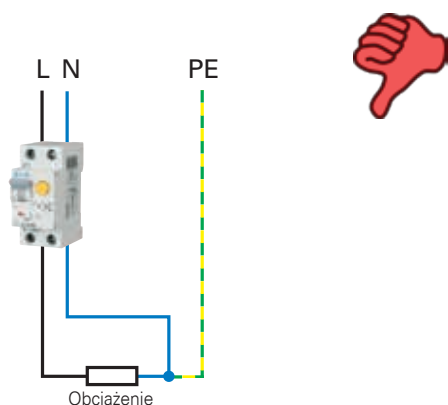


RCD zadziała natychmiast po włączeniu urządzenia!

Rys. 91 Niedopuszczalne podłączenie przewodów PE i N po wyłączniku RCD



Rys. 92 Sprawdzić separację przewodów PE i N po zadziałaniu wyłącznika RCD

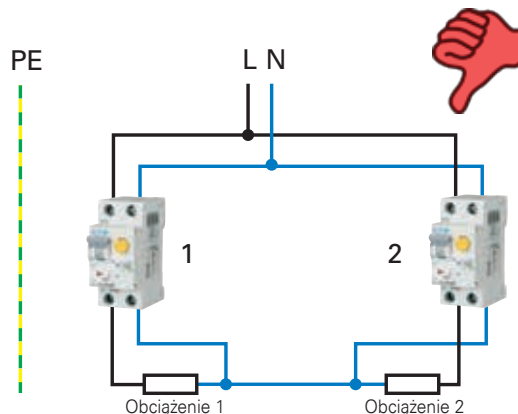


RCD zadziała natychmiast po włączeniu urządzenia!

Rys. 93 Nieprawidłowe podłączenie przewodów PE i N

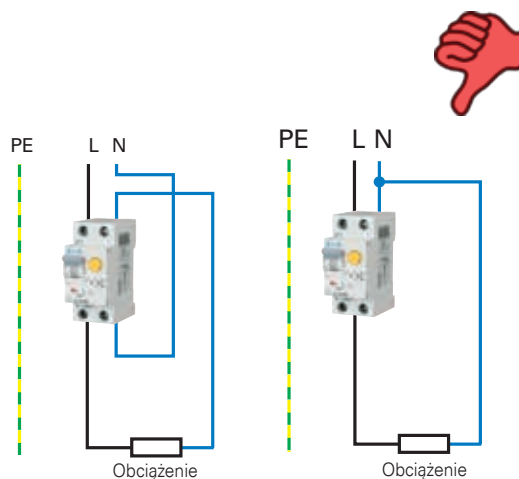
Rysunki 93, 94 opisują wadliwe okablowanie, które może wystąpić z powodu ograniczonej przestrzeni w rozdzielnicach. Listwy zaciskowe na przewody neutralne stosowane w obwodach za RCD znajdują się często w pobliżu wejścia RCD, a okablowanie przewodu neutralnego wykonuje się najkrócej, jak to możliwe. Błędem tym można łatwo zapobiec poprzez systematyczne oznaczanie przewodów pod napięciem i przewodów neutralnych podczas instalacji.

Rysunek 96 wskazuje na nieprawidłowe podłączenie przewodów neutralnych w rozdzielnicach, zazwyczaj spowodowane nieumyślnie. Po aktywacji urządzenia o większym poborze mocy jeden lub więcej RCD zostanie wyłączonych, ponieważ prądy zostaną rozdzielone przez impedancję różnych obwodów, a wynikające z tego różnice prądów zostaną ocenione jako prądy różnicowe. Inny przykład nieprawidłowego podłączenia pokazany jest na Rys. 96. Przy łączeniu gniazd za RCD należy przestrzegać następującej zasady: „ile RCD, tyle samo bloków na przewody neutralne”.

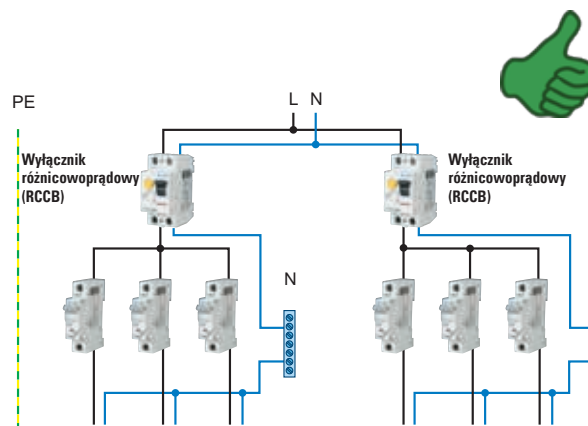
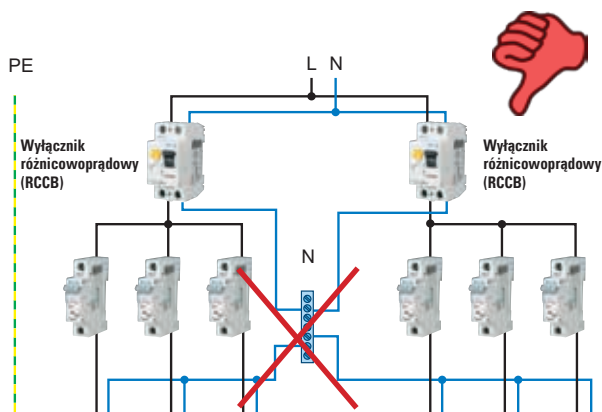


Nie wolno łączyć przewodów roboczych za różnymi RCD!

Rys. 94 Równoległe połączenie dwóch RCD



Rys. 95 Nieprawidłowe podłączenie przewodu neutralnego

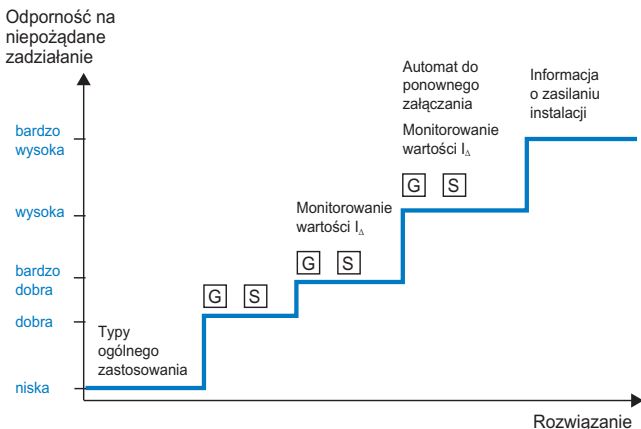


Jeden z RCD zadziała natychmiast po włączeniu urządzenia!

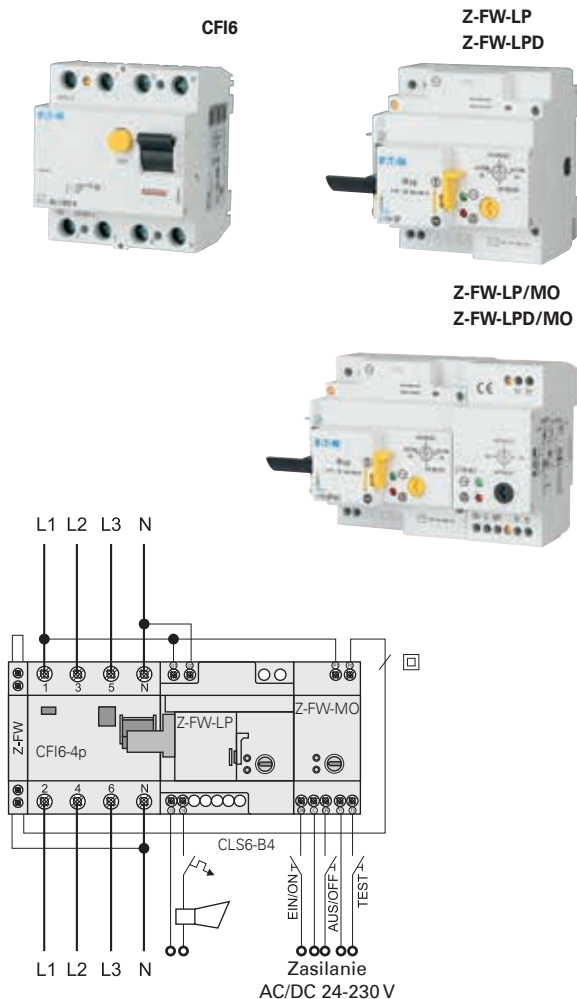
Rys. 96 Stosowanie niezależnych bloków neutralnych w różnych obwodach po RCD

10.2 Automatyka i zdalna aktywacja

Rysunek 97 opisuje możliwości zapewnienia najlepszej możliwej odporności na niepożądane zadziałanie RCD. Typy bez opóźnienia zadziałania charakteryzują się najniższą wytrzymałością (wytrzymałość na przepięcia do 250 A). Znacznie większa jest wytrzymałość typów opóźnionych (wytrzymałość 3 lub 5 kA) z liczbą niepożądanych wyzwoleń w przedziale procentu jednostek w porównaniu do typów bezwłoczných.



Rys. 97 Odporność na niepożądane zadziałanie wyłącznika RCD



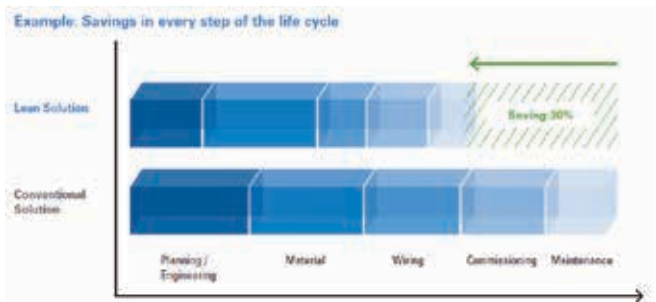
Rys. 98: Urządzenia do zdalnej i automatycznej aktywacji RCD

W pozostałych przypadkach, gdy nie pomagają nawet typy opóźnione lub nie ma personelu obsługującego (nadajniki telekomunikacyjne, stacje benzynowe itp.), dołączane są urządzenia do ponownego załączenia. Zasilanie zdalnego napędu może pochodzić z sieci zasilającej lub zapasowego źródła zasilania (UPS, bateria). Użytkownicy mogą wybrać liczbę powtórnych prób, a jeśli próba nie powiedzie się, urządzenie wyśle do obsługi sygnał wskazujący na usterkę w instalacji. Cena urządzeń pozwalających na automatyczną aktywację jest jednorazową inwestycją, ale pozwoli zaoszczędzić koszty wielokrotnych interwencji i skrócić przestoje sprzętu.

9.6 Oszczędne połączenia w zastosowaniach przemysłowych

RCD są ważnym elementem skracającym przestoje, ale konstruktorzy i instalatorzy maszyn mogą jeszcze bardziej wydłużyć czas sprawności i zaoszczędzić do 30% dzięki integracji ich w środowisku oszczędnej automatyzacji. Na przykład urządzenia takie jak MCB, RCCB i RCBO można łatwo i szybko podłączyć do linii SmartWire-DT za pośrednictwem modułu SmartWire-DT MCB firmy Eaton. Dzięki temu dodatkowy poziom we/wy i okablowanie są zbędne, co umożliwi konstruktorom maszyn skrócenie czasu i zmniejszenie kosztów instalacji.

Dzięki zastosowaniu tego systemu, stan (włączony, wyłączony, wyzwolony) urządzeń zabezpieczających jest dostępny w systemie sterowania lub monitoringu maszyny lub sieci rozdziału zasilania. Dzięki temu zespoły serwisowe i konserwacyjne mogą na bieżąco otrzymywać informacje o systemie, co pozwala im na natychmiastowe reagowanie na problemy i ograniczenie do minimum czasu przestoju systemu.



Rys. 99 Oszczędności powstałe dzięki przejściu na inteligentne okablowanie



Rys. 100 Czas przestoju można jeszcze bardziej skrócić poprzez zintegrowanie RCD z linią SmartWire-DT firmy Eaton

Skróty

Jako punkt odniesienia podajemy również coraz częściej spotykane w obcej dokumentacji technicznej i nowych przepisach elektrotechnicznych dodatkowe skróty:

ACB - Wyłącznik powietrzny

AFCI - Detektor iskrzeń (USA)

AFDD - Przeciwpożarowy detektor iskrzenia (Europa)

CRB - Wyłącznik kompaktowy z zabezpieczeniem różnicowoprądowym

EGFPD - Urządzenie zabezpieczające przed uszkodzeniem uziemienia (GB)

GFCI - Wyłącznik różnicowoprądowy (USA) = RCD (IEC)

IMD - Urządzenie monitorujące izolację

MCBs - Wyłączniki nadprądowe

MCCBs - Wyłączniki kompaktowe

MRCD - Modułowe urządzenie różnicowoprądowe

OCD, OCPD - Zabezpieczenie nadprądowe

PRCD - Przenośne urządzenie różnicowoprądowe

RCD - Wyłącznik różnicowoprądowy

RCBO - Wyłączniki różnicowoprądowe z wbudowanym zabezpieczeniem nadprądowym do użytku domowego i podobnych zastosowań

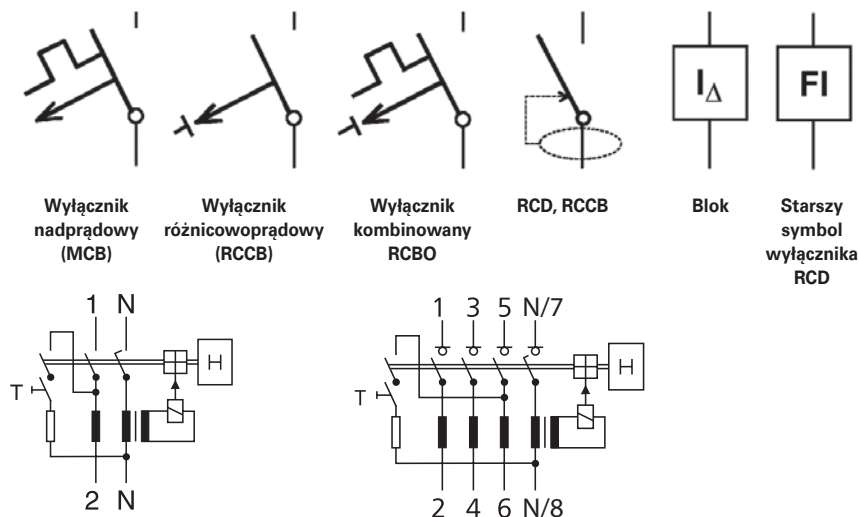
RCCB - Wyłączniki różnicowoprądowe bez wbudowanego zabezpieczenia nadprądowego do użytku domowego i podobnych zastosowań

RCM - Monitory różnicowoprądowe do użytku domowego i podobnych zastosowań

SPD - Ograniczniki przepięć

SRCD - Zabezpieczenie różnicowoprądowe zabudowane w gnieździe

Symbole graficzne



Zastosowanie RCD				
Zgodnie z IEC/ mod HD	<ul style="list-style-type: none"> jako ochronę przed porażeniem prądem elektrycznym: jako ochrona przeciwpożarowa: 	AP - Ochrona uzupełniająca AD - Samoczynne wyłączenie zasilania (podczas awarii) F - Ochrona przeciwpożarowa		
$I_{\Delta n}$	$\leq 30 \text{ mA}$	$\leq 100 \text{ mA}$	$\leq 300 \text{ mA}$	$\leq 500 \text{ mA}$
60364-4-41 Ochrona przed porażeniem prądem elektrycznym	AP - gniazda dla zwykłych osób $\leq 20 \text{ A}$; gniazda zewnętrzne ≤ 32		AD - może być używany dla AD obok urządzeń zabezpieczających przed przeciążeniem (OCPD); musi być używany dla AD, jeśli nie spełnia wymagań AD OCPD (wyłączniki lub bezpieczniki)	
60364-4-42 60364-4-41 Ochrona przed gorącym	F - napowietrzne obiegi grzewcze		F - obwody końcowe TN i TT dla obszarów zagrożonych pożarem	
60364-7-701 Obszary z wanną lub prysznicem	AP - cała instalacja niskonapięciowa w pomieszczeniu z wanną lub prysznicem			
60364-7-702 Baseny i inne zbiorniki	AD - dla fontann AP - dla basenów w strefie 2, a dla linii w strefach 0, 1, 2			
60364-7-704 Place budowy i rozbiórki	AP - obwody gniazdowe $\leq 32 \text{ A}$			Obwody gniazdowe $> 32 \text{ A}$
60364-7-705 Rolnictwo i ogrodnictwo	AP - obwody gniazdowe $\leq 32 \text{ A}$	Obwody gniazdowe $> 32 \text{ A}$	AD i F - Obwody inne niż obwody gniazdowe ($\leq 32 \text{ A}$ i $> 32 \text{ A}$)	
60364-7-706 Obszary o ograniczonym przewodzeniu prądu	AP - zasilanie zamontowanego urządzenia klasy II			
60364-7-708 Domowy parking mobilny	Wyłącznik jednofazowy na jedno gniazdo			
60364-7-709 złącza itd.	Każde gniazdo, każda końcówka obwodu do podłączenia portu			
60364-7-710 Placówki medyczne	Obwody gniazdowe $\leq 32 \text{ A}$ - do placówek medycznych: grupa 1; w grupie 2 dla obwodów: - napęd stołu operacyjnego, - zasilanie urządzeń rentgenowskich, - do zasilania urządzeń o mocy powyżej 5 kVA - do zasilania urządzeń o znaczeniu niekrytycznym			
60364-7-711 Wystawy, pokazy i stoiska	Obwody gniazdowe i obwody zaciskowe (z wyjątkiem oświetlenia awaryjnego) $\leq 32 \text{ A}$.		Przewody zasilające tymczasowych instalacji elektrycznych	
60364-7-714 Instalacje oświetlenia zewnętrznego	Wbudowane oświetlenie w budkach telefonicznych, na przystankach autobusowych itp.			
60364-7-717 Jednostki ruchome lub przenośne	Po podłączeniu do stałej instalacji elektrycznej i jako środek uzupełniający do działu elektrycznego oraz do gniazd urządzeń znajdujących się poza jednostką			
60364-7-721 Przyczepy kempingowe i domy przewoźne	AP - do wykorzystania jako środek uzupełniający do AD- zob. HD 60364-4-41			
60364-7-722 Zasilanie pojazdów elektrycznych	Każdy punkt przyłączeniowy			
60364-7-740 Stoiska w parkach rozrywki	Obwody końcowe oświetlenia, gniazda $\leq 32 \text{ A}$, urządzenia przewodu zasilającego $\leq 32 \text{ A}$		Instalacja elektryczna każdej tymczasowej konstrukcji	
60364-7-753 Kable i systemy grzewcze	Obwody zasilające agregaty grzewcze			

Tab. 10 Przykłady zastosowania RCD

Referencje

- [1] Biegelmeier G.: Liber amicorum – liber inimicis, Wien, ESF, 2000
- [2] Biegelmeier G.: Schutz gegen elektrischen Schlag: Beurteilung der Grenzkrisiken – Wertigkeitsvergleiche, Wien, ESF, 2001
- [3] Biegelmeier G.: Wirkung des elektrischen Stromes auf den menschlichen Körper, Film, Wien, 1980 (<https://www.youtube.com/watch?v=08r27LnLHCM>)
- [4] Mörx A.: Die schutztechnische Funktion von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen in genullten Niederspannungsanlagen, DIAM consult, Wien 2011
- [5] Štěpán F.: Proudové chrániče (RCDs), IN-EL Praha, 2015
- [6] Genowitz P.L.: Protecting man and machine against demaging residual currents, Eaton, 2015
- [7] xEffect Catalogue, Eaton 2015
- [8] ZVEI – Zentral Elektrotechnik und Elektroindustrie e.v., Germany (www.zvei.org)
- [9] IEC/TS 60479-1: (2013) Effect of current on human beings and livestock – Part1: General aspects
- [10] IEC/TS 60479-2: (2014) Effect of current on human beings and livestock – Part 2: Special aspects
- [11] IEC 61140 ed. 2: (2003) – Protection against electric shock – Common aspects for intallation and equipement
- [12] IEC 60364-1, Low-voltage electrical installations- Part 1: Fundamental principles, assessment of general characteristics, definitions (HD 60364-1)
- [13] IEC 60364-4-41 (2005), Low-voltage electrical installations- Part 4-41: Protection for safety- Protection against electric shock (HD 60364-4-41)
- [14] IEC 60364-5-53 (2015) Electrical installations of buildings- Part 5: Selection and erection of electrical equipment- Chapter 53: Switchgear and controlgear
- [15] IEC 60364-6 (2006), Verification
- [16] IEC 60364-7-xx, Electrical installations of buildings- Part7: Requirements for special installations and locations
- [17] IEC 61008-1 Residual current operated circuit-breakers without integral overcurrent protection for household and similar uses (RCCBs)- Part 1: Ogólne zasady (General rules)
- [18] IEC 61009-1 Residual current operated circuit-breakers with integral overcurrent protection for household and similar uses (RCBOs)- Part 1: Ogólne zasady (General rules)
- [19] IEC 62423 ed. 2:(2013) Residual current operated circuit-breakers with integral overcurrent protection and without integral overcurrent protection for household and similar use type F and B
- [20] IEC 61543 (1995) Residual current-operated protective devices (RCDs) for household and similar use – Electromagnetic compatibility
- [21] IEC 60947-2 (2006): Low-voltage switchgear and controlgear- Part 2: Circuit-breakers (EN 60947-2:2006)
- [22] IEC TR 62350 (2006): Guidance for the correct use of residual curren-operated protective devices (RCDs) for household and similar use
- [23] IEC 50178 (1996), Electronic equipment for use in power installations
- [24] IEC 62606, General requirements for arc fault detection devices

Eaton jest firmą zarządzającą energią ze sprzedażą sięgającą 20.4 miliarda USD w 2017 roku. Zapewniamy wydajne energetycznie rozwiązania, które pomagają naszym klientom zwiększyć efektywność i bezpieczeństwo oraz zrównoważyć zużycie energii elektrycznej, hydraulicznej i mechanicznej. Eaton pragnie poprawiać jakość życia i dbać o środowisko poprzez technologie i usługi związane z dystrybucją energii. Eaton zatrudnia blisko 96 tys. pracowników i sprzedaje swoje produkty klientom z ponad 175 krajów.

Aby uzyskać więcej informacji, prosimy o odwiedzenie Eaton.com.



Eaton Electric Sp. z o.o.
Galaktyczna 30
80-299 Gdańsk
Polska

Eaton
Siedziba EMEA
Route de la Longeraie 7
1110 Morges, Switzerland
Eaton.pl

© 2018 Eaton
Wszelkie prawa zastrzeżone
Publikacja nr BR120001PL / C/SSC-GL-1524
Grudzień 2018
Grafiki: SRA, Schrems

Eaton jest zarejestrowanym znakiem towarowym.

Wszystkie inne znaki towarowe są własnością odpowiednich firm.

Najnowsze informacje o produktach i wsparciu można uzyskać za pośrednictwem mediów społecznościowych.

