

BADANIA STANU OCHRONY PRZECIWPORAŻENIOWEJ W INSTALACJACH Z WYŁĄCZNIKAMI RÓŻNICOWOPRĄDOWYMI

Wyłączniki różnicowoprądowe mogą być elementem systemów ochrony przeciwporażeniowej dodatkowej i/lub ochrony przeciwporażeniowej uzupełniającej i/lub ochrony przeciwpożarowej i stosownie do tego spełniają nieco inną rolę. Mogą być stosowane w układach TN, TT oraz IT, co stwarza zupełnie różne sieciowe warunki pracy, wpływa na skuteczność i na niezawodność ochrony. Wyłączniki różnicowoprądowe w instalacji wymagają koordynacji między sobą, a także z zabezpieczeniami zwarciovymi i urządzeniami ochrony przeciwprzepięciowej. Poprawne ich stosowanie w bardziej złożonych sytuacjach wymaga dużej wiedzy, a sprawdzanie i badanie skuteczności ochrony – wiedzy jeszcze większej i wiąże się z dużą odpowiedzialnością. Od sprawdzającego stan instalacji oczekuje się nie tylko umiejętności operowania miernikiem, lecz przede wszystkim intuicji i wprawy w wykrywaniu niezliczonych możliwych błędów popełnianych przy doborze i instalowaniu wyłączników oraz niesprawności powstałych w eksploatacji.

1. Zasady ogólne

Zastanawiając się nad procedurą badań stanu ochrony w instalacjach z wyłącznikami różnicowoprądowymi [1, 2, 3, 4, 6, 8, 12, 18, 23, 24, 25] od początku dobrze mieć na względzie następujące wskazówki:

a) Wymagania stawiane układowi ochrony i samemu wyłącznikowi zależą od przewidywanego **zakresu ochrony** (ochrona przeciwporażeniowa dodatkowa i/lub uzupełniająca, ochrona przeciwpożarowa) i od układu sieci lub instalacji (TN, TT, IT).

b) **Badanie stanu ochrony nie powinno ograniczać się do badania samego wyłącznika**; jest on ważnym, ale tylko jednym z elementów układu ochrony.

c) Często spotykanym błędem są **nierozważne połączenia w obwodach za wyłącznikiem**: przewodów N i PE, przewodów N różnych obwodów (wspólna szyna N dopuszczalna, jeśli nie ma wyłączników różnicowoprądowych), uzziemienie przewodu N; trzeba je wytrwale tropić, bo wpływ ich może ujawniać się tylko sporadycznie poprzez brak zadziałania wyłącznika lub zadziałania zbędne i łatwo je przeoczyć w trakcie badań.

d) Zważywszy dużą **zawodność wyłączników różnicowoprądowych** sprawdzanie, choćby bardzo uproszczone i dotyczące samego wyłącznika, np. przez naciśnięcie przycisku T, powinno się odbywać znacznie częściej niż w przypadku innych środków ochrony.

e) Poza zbadaniem, że wyłącznik poprawnie zadziała w razie zagrożenia, trzeba umieć zaradzić **zbędnym zadziałaniom**, jeśli takowe dokuczają użytkownikom; w przeciwnym razie poradzą sobie sami i uczynią to jak najgorzej, zwierając wyłącznik. Są sytuacje, kiedy wyjściem najwłaściwszym jest rezygnacja ze stosowania wyłączników różnicowoprądowych i takie radykalne orzeczenie trzeba umieć wydać i uzasadnić.

f) Wyzwalanie wyłączników podczas normalnego użytkowania obiektu może być niedopusz-

czalne i skłaniać do wykonywania badań o takiej porze, by nie dezorganizować pracy użytkownikom instalacji.

Potrzebne są kompletne wytyczne określające zasady wykonywania odbiorczych i okresowych badań stanu ochrony w instalacjach z wyłącznikami różnicowoprądowymi oraz sposób przedstawiania ich wyników w postaci ujednoczonych protokołów. Norma PN-IEC 60364-6-61, dotycząca **badań odbiorczych**, nie określa nawet pełnego zakresu badań w najprostszycy sytuacjach i nie wspomina o żadnych trudniejszych zastosowaniach [8, 17, 18].

Nie ma norm ani przepisów dotyczących częstości i zakresu **badań okresowych** w różnorodnych warunkach użytkowania urządzeń. Na forum IEC trwają prace nad ostateczną wersją arkusza IEC 60364-6-62 „Przeglądy i badania okresowe” [27]. Projekt normy zawiera dwa rozdziały: *postanowienia ogólne* oraz *częstość przeglądów i badań okresowych*. Potwierdza się zasadę **ochrony zastanej**, tzn. że od urządzeń istniejących wymaga się, aby spełniały wymagania przepisowe z okresu ich projektowania i budowy, dopóki nie dochodzi do ich gruntownej naprawy, przebudowy bądź modernizacji. Najwięcej emocji podczas ankietyzacji projektu normy wzbudza sprawa częstości przeglądów i badań okresowych. W projekcie zaproponowano na ten temat, co następuje:

- Częstość przeglądów i badań okresowych powinna być ustalana stosownie do rodzaju urządzeń, ich trybu pracy, częstości i jakości zabiegów konserwacyjnych oraz warunków środowiskowych. Największe dopuszczalne odstępny czasu między kolejnymi przeglądami i badaniami mogą być określone w przepisach krajowych; jako właściwy można uznać okres trzech lat.
- Okres krótszy niż trzy lata powinien być przyjęty w warunkach zwiększonego zagrożenia, jak urządzenia narażone na przyspieszone zużycie, urządzenia w miejscach niebezpiecznych pod względem pożarowym i/lub wybuchowym, place budowy oraz miejsca, w których są jednocześnie użytkowane urządzenia niskiego i urządzenia wysokiego napięcia.
- Okres dłuższy niż trzy lata może być przyjęty dla budynków mieszkalnych.
- Przeglądy i badania okresowe można zastąpić stałym monitorowaniem stanu technicznego urządzeń.

Strona polska, jak zwykle, nie miała żadnych uwag. Inne komitety krajowe wnosily o częstość badań co pięć lat (co dwa lata w warunkach zwiększonego zagrożenia) albo opowiadały się za skreśleniem tego zapisu. W odniesieniu do budynków mieszkalnych proponowały badania co dziesięć lat albo tylko w razie zmiany właściciela (ew. użytkownika) mieszkania.

Są kraje, jak Niemcy, mniej zainteresowane normą międzynarodową, bo od dawna mają szczegółowe uregulowania dla przeglądów i badań okresowych urządzeń elektrycznych. Według normy DIN VDE 0702:1995-11 częstość sprawdzania skuteczności ochrony przeciwporażeniowej powinna być uzależniona od warunków środowiskowych określających stopień narażenia urządzeń elektrycznych na uszkodzenia i stopień zagrożenia ludzi porażeniem. Okresowe sprawdzanie skuteczności ochrony w pełnym zakresie przez osoby uprawnione powinno odbywać się w odstępach czasu nie większych niż:

- 1 miesiąc – w instalacjach zasilających odbiorniki ręczne i przenośne, użytkowane w warunkach wymagających ochrony z użyciem wyłączników różnicowoprądowych,
- ½ roku – w instalacjach publicznych basenów kąpielowych, łaźni i saun,
- 1 rok – w warunkach szczególnego zagrożenia (arkusze 700) poza wymienionymi wyżej,
- 2 lata – w instalacjach biurowców,
- 4 lata – w innych instalacjach.

Niezależnie od tego, sprawdzania sprawności wyłączników różnicowoprądowych przez naciśnięcie przycisku kontrolnego T sami użytkownicy (osoby poinstruowane) powinni dokonywać nie rzadziej niż:

- co ½ roku – w instalacjach stałych,

co miesiąc – w instalacjach ruchomych w warunkach zwiększonego zagrożenia porażeniem,
codziennie – w instalacjach ruchomych w warunkach ekstremalnego zagrożenia porażeniem
(posługiwanie się narzędziami ręcznymi w miejscach mokrych i/lub w ograniczo-
nych przestrzeniach przewodzących).

Przed trzema laty pojawiły się **wyłączniki różnicowoprądowe z układem autotestu**, czyli „samosprawdzające się” (niem. *selbstüberwachende FI-Schutzschalter*). Nie licząc wcześniejszych zapowiedzi i fotografii prototypów, pierwsza ekspozycja wykonań przemysłowych miała miejsce w marcu 2000 r. na targach „Light + Building”. Były to wyłączniki NSFI Schupa o znamionowym prądzie ciągłym 25, 40 i 63 A i znamionowym różnicowym prądzie zadziałania 30 i 300 mA. Moduł elektroniczny autotestu sprawdza zdadność ruchową wszystkich istotnych części wyłącznika bez jego otwierania. Odbywa się to po każdym zamknięciu wyłącznika, po każdym zaniku napięcia i chociażby raz dziennie, jeśli wyłącznik jest stale zamknięty. Pozytywny wynik badania jest potwierdzony stałym świeceniem zielonej diody, w razie wyniku negatywnego zaświeca się czerwona dioda, a wyłącznik otwiera się samoczynnie. To kosztowne wykonanie ma zapewniać wypełnienie obowiązku częstego sprawdzania stanu samego wyłącznika bez udziału zawodnego człowieka i bez choćby krótkotrwałego wyłączania obwodów wymagających absolutnej ciągłości zasilania. Zachodzi pytanie, czy z formalnego punktu widzenia wolno zrezygnować ze sprawdzania stanu wyłącznika przez naciśnięcie przycisku kontrolnego T, jeżeli ten wyłącznik ma układ autotestu.

W braku właściwych norm przedmiotowych, na przełomie lat 2001/2002 BGFE (Berufsgenossenschaft der Feinmechanik und Elektrotechnik w Kolonii), instytucja najbardziej kompetentna w tym zakresie, w porozumieniu z wytwórcami wyłączników przygotowała kompletny zestaw wymagań technicznych dla wyłączników „samosprawdzających się”. Dopełnienie ich powinna potwierdzać akredytowana jednostka.

Aktualnie nie ma na rynku żadnego wyłącznika z układem autotestu spełniającego wszystkie stawiane wymagania i dlatego na razie wolno zrezygnować z okresowego sprawdzania stanu takich wyłączników tylko w tych zastosowaniach, w których nie jest wymagana ochrona przeciwporażeniowa uzupełniająca, tzn. nie jest wymagany wyłącznik różnicowoprądowy wysokoczuły (o znamionowym różnicowym prądzie zadziałania nie przekraczającym 30 mA). Takie stanowisko BGFE zostało potwierdzone [11] w końcu roku 2002.

2. Oględziny i badania stanu ochrony przeciwporażeniowej podstawowej

Badania odbiorcze nowych i przebudowanych instalacji oraz badania okresowe o pełnym zakresie powinny obejmować ogólną ocenę stanu ochrony, również ochrony podstawowej, a zatem sprawdzenie:

- a) **rezystancji izolacji** przewodów i urządzeń odbiorczych, poprzez pomiary, przy czym w przypadkach kłopotliwych (komputery i inne urządzenia elektroniczne) pomiar rezystancji izolacji można zastąpić pomiarem **prądu upływowego**,
- b) stanu technicznego **osłon** urządzeń, zgodności ich stopnia ochrony IP z warunkami użytkowania [17],
- c) prawidłowości doboru **klas ochronności** urządzeń [17],
- d) poprawności przyłączenia urządzeń [21],
- e) wykonania wymaganych napisów ostrzegawczych i informacyjnych,
- f) przygotowania poprawnych instrukcji eksploatacji zawierających m.in. zasady bezpiecznej obsługi urządzeń oraz terminy przeglądów i badań okresowych.

3. Oględziny elementów ochrony przeciwporażeniowej dodatkowej

Sprawdzeniu podlegają wszelkie elementy zastosowanego systemu ochrony dodatkowej, poczynając od najprostszych:

a) Czy są przestrzegane **zasady koordynacji gniazd wtyczkowych i wtyczek** [17] i czy łączniki wtyczkowe są w należyłym stanie, nieuszkodzone.

b) Czy są poprawnie wykonane **połączenia ochronne i wyrównawcze**. Czy przewody mają wymagany przekrój, są odpowiednio ułożone, czy – w razie potrzeby – są chronione od uszkodzeń mechanicznych [21]. Czy w przewodach ochronnych nie ma łączników. Czy przewody ochronne PE i neutralne N są należyście oznakowane (tabl. 1). Czy w miejscu przyłączenia przewodów, do zacisków odbiorników, gniazd wtyczkowych i wtyczek, przewód ochronny PE (PEN) ma większy nadmiar długości niż przewody czynne [17].

Tablica 1. Oznakowanie przewodów w instalacjach prądu przemiennego według wymagań norm EN

Oznaczenie alfanumeryczne	Wyróżnienie barwne
L1, L2, L3	dowolne jednobarwne za wyjątkiem barwy żółtej i zielonej (oraz barwy jasnoniebieskiej, jeśli występuje przewód N)
N	zalecane: jasnoniebieskie
PE	wymagane: żółto-zielone
PEN	wymagane: żółto-zielone (zalecane dodatkowo jasnoniebieskie przy końcówkach)

4. Ogłędziny i sprawdzenie poprawności doboru wyłączników różnicowoprądowych

Na wstępie trzeba sprawdzić, jaką funkcję spełnia układ ochronny różnicowoprądowy: ochrony przeciwporażeniowej dodatkowej, ochrony przeciwporażeniowej uzupełniającej, czy ochrony przeciwpożarowej, czy też ma łączyć niektóre z wymienionych funkcji. Stosownie do tego mogą występować pewne wymagania co do wartości znamionowego różnicowego prądu zadziałania i co do sposobu wyzwalań [21, 20]. Zwięzłe informacje podaje tabl. 2.

Wyjaśnienia wymaga pojęcie ochrony uzupełniającej (ochronę podstawową), tzn. ochrony zapobiegającej groźnemu porażeniu w razie dotknięcia części czynnej. Jest ona domyślnie wymagana przez normy bądź przepisy, ilekroć wymagają one użycia wysokoczułego wyłącznika różnicowoprądowego ($I_{\Delta n} \leq 30$ mA).

W myśl tabl. 2 pożarom od doziemnych prądów upływowych zapewnia wyłącznik o znamionowym różnicowym prądzie zadziałania $I_{\Delta n} \leq 500$ mA, ale niemieckie firmy ubezpieczeniowe żądają wyłącznika $I_{\Delta n} \leq 300$ mA, a w przypadku elektrycznego ogrzewania sufitowego nowa norma DIN VDE żąda wyłącznika $I_{\Delta n} \leq 30$ mA.

Tablica 2. Zakres przydatności wyłączników różnicowoprądowych w zależności od wartości znamionowego różnicowego prądu zadziałania $I_{\Delta n}$

10 mA	30 mA	100 mA	300 mA	500 mA	1 A	≥ 3 A
Ochrona przeciwporażeniowa dodatkowa poza warunkami szczególnego zagrożenia. Wymagany wyłącznik o wyzwaniu bezpośrednim (niezależnym od obecności i wartości napięcia w obwodzie), wymagany przewód ochronny PE.						
Ochrona przeciwporażeniowa dodatkowa oraz ochrona uzupełniająca (w warunkach szczególnego zagrożenia). Wymagany wyłącznik o wyzwaniu bezpośrednim, wymagany przewód ochronny PE.						
Tylko ochrona przeciwporażeniowa uzupełniająca. Nie jest wymagany wyłącznik o wyzwaniu bezpośrednim, nie jest wymagany przewód ochronny PE ¹ .						
Ochrona przeciwpożarowa (od pożarów wywołanych zwarciami doziemnymi). Wymagany wyłącznik o wyzwaniu bezpośrednim i przewód ochronny PE.						

Trzeba następnie sprawdzić czy zostały spełnione podstawowe warunki doboru [20] każdego z wyłączników różnicowoprądowych do **sieciowych warunków pracy**, warunki obowiązujące przy doborze jakichkolwiek rozłączników bądź wyłączników:

a) Czy **napięcie znamionowe** wyłącznika pokrywa się z napięciem znamionowym instalacji. Napięcie znamionowe wyłącznika nie powinno być mniejsze ze względu na zdolność łączenia. Nie powinno być znacznie (np. ponad 20 %) większe ze względu na działanie członu kontrolnego z przyciskiem T.

b) Czy **prąd znamionowy ciągły** wyłącznika (z ewentualną korektą z tytułu podwyższonej temperatury otoczenia, np. w wyniku skupienia wielu aparatów w ciasnej obudowie) jest nie mniejszy niż szczytowe obciążenie obwodu.

c) Czy **znamionowa częstotliwość** prądu, na którą został wykonany wyłącznik, jest odpowiednia; ma to wpływ na nagrzewanie toru prądowego, na zdolność łączenia, a przede wszystkim – na działanie różnicowego układu wyzwalającego. Wyłącznik bez oznaczonej częstotliwości prądu nadaje się do obwodów 50 Hz (60 Hz); w obwodach prądu zwiększonej częstotliwości są potrzebne wyłączniki do tego przystosowane i odpowiednio oznaczone (**400 Hz**). Problem występuje również w obwodach zawierających przemienniki częstotliwości, gdzie częstotliwość składowej przemiennej prądu upływowego może być zawarta w szerokim przedziale, z dominującym udziałem 3. i 6. harmonicznej (prądu wyjściowego o regulowanej częstotliwości) oraz częstotliwości sterowania (impulsowania) falownika.

d) Czy nie jest przekroczona **obciążalność zwarciova** wyłącznika, co grozi jego uszkodzeniem, zwłaszcza szepieniem styków i brakiem zadziałania po wystąpieniu prądu różnicowego. Z tego punktu widzenia rozróżnia się:

- **RCCB – Wyłączniki różnicowoprądowe bez wyzwaczy nadprądowych** (ang. *residual current operated circuit-breakers without integral overcurrent protection*), o zdolności wyłączenia nie mniejszej niż 10-krotna wartość prądu znamionowego ciągłego i nie mniejszej niż 500 A. Z zasady wymagają one dobezpieczenia bezpiecznikiem.




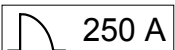

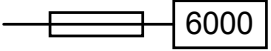
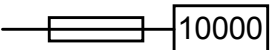
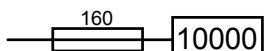

- **RCBO – Wyłączniki różnicowoprądowe z wyzwaczami nadprądowymi** (ang. *residual current operated circuit-breakers with integral overcurrent protection*), o zdolności wyłączenia

¹ Te odstępstwa należy traktować jako dopuszczalne w okresie przejściowym, do czasu pełnej modernizacji instalacji. W Niemczech były one akceptowane do 1 marca 2002 r.

porównywalnej z wyłącznikami nadprądowymi. Wymagają dobezpieczenia, jeśli warunki zwarcio-
we w miejscu zainstalowania przekraczają ich zwarciovą zdolność łączenia. Trzeba też sprawdzić
poprawność doboru wyzwalaczy zwarciovych: typu charakterystyki (B, C, D) i prądu znamiono-
wego wyłącznika rzutującego na prąd nastawczy wyzwalaczy.

W obu wypadkach wytwórca podaje na wyłączniku jako obciążalność zwarciovą największy
dopuszczalny **prąd zwarciovą początkowy** w miejscu zainstalowania wyłącznika. Jeśli dobezpie-
czenie jest konieczne, dodaje się symbol graficzny bezpiecznika (tabl. 3). Jeśli największy dopusz-
czalny prąd znamionowy wkładki bezpiecznikowej gG jest większy niż 63 A, wartość jego jest
podana przy symbolu bezpiecznika. Jako wykonanie normalne traktuje się obciążalność zwarciovą
6000 A przy dobezpieczeniu wkładką bezpiecznikową gG 63 A; bywają wyłączniki o obciążalności
zwarciovej 3000 A, 10000 A i większej. Na razie niektórzy wytwórcy podają, a w przyszłości
wszyscy będą obowiązani podawać wytrzymywane przez wyłącznik wartości **całki Joule'a** [A^2s]
oraz **prądu szczytowego** [kA_{max}].

Tablica 3. Ważniejsze symbole graficzne umieszczane na wyłącznikach różnicowoprądowych

S y m b o l	I n t e r p r e t a c j a
 lub AC	Układ wyzwalający działa przy prądzie różnicowym przemiennym.
 lub A	Układ wyzwalający działa przy prądzie różnicowym przemiennym i przy prądzie jednokierunkowym pulsującym o składowej stałej nie przekraczającej 6 mA.
 lub B	Układ wyzwalający działa przy prądzie różnicowym przemiennym, stałym pulsującym i stałym o niedużym tętnieniu.
 250 A	Wyłącznik (bezwłoczny) odporny na udarowy prąd różnicowy 250 A o przebiegu 8/20 μs
G lub VSK lub KV lub KVP	Wyłącznik krótkozwłoczny, o czasie przetrzymywania 10 ms (odporny na udarowy prąd różnicowy 3 kA 8/20 μs)
 S	Wyłącznik wybiórczy (odporny na udarowy prąd różnicowy 3 lub 5 kA 8/20 μs)
 6000	Obciążalność zwarciova 6 kA przy dobezpieczeniu bezpiecznikiem gG 63 A ($I_{bn} \leq 63$ A)
 10000	Obciążalność zwarciova 10 kA przy dobezpieczeniu bezpiecznikiem gG 63 A ($I_{bn} \leq 63$ A)
 10000	Obciążalność zwarciova 10 kA przy dobezpieczeniu bezpiecznikiem gG 160 A ($I_{bn} \leq 160$ A)
-5°C lub brak oznaczenia temperatury	Wyłącznik do zainstalowania w nieogrzewanym pomieszczeniu
 -25	Wyłącznik mrozoodporny, do pracy na wolnym powietrzu. Najniższa dopuszczalna temperatura otoczenia -25°C

Kontynuując akronimy stosowane w świecie w odniesieniu do urządzeń różnicowoprądowych warto odnotować następane, poza symbolem ogólnym **RCD** (ang. *residual current protective device*):

- **PRCD** – Przenośne urządzenia ochronne różnicowoprądowe (ang. *portable residual cur-*

rent protective device) stanowiące wyposażenie przenośnych rozdzielnic, gniazd wtyczkowych lub listew przyłączeniowych.

- **PRCD-S – Przenośne urządzenia ochronne różnicowoprądowe o rozszerzonym zakresie skuteczności ochrony** (ang. *portable residual current protective device-safety*) o podobnym przeznaczeniu, jak poprzednie (PRCD), ale z dodatkowymi funkcjami, np. kontrolujące poprawność przyłączenia i ciągłość przewodu ochronnego PE.

- **SRCD – Urządzenia ochronne różnicowoprądowe w postaci gniazda wtyczkowego** przeznaczonego do instalowania na stałe (ang. *fixed socket-outlets residual current protective device*).

- **RCM – Urządzenia do stałej kontroli prądu różnicowego instalacji** (ang. *residual current operated monitors*) sygnalizujące nadmierną wartość prądu różnicowego, ryzykowną ze względu na zagrożenie porażeniem i/lub pożarem i/lub zakłóceniami elektromagnetycznymi. Takie urządzenia – działające tylko na sygnał – są rozwiązaniem kompromisowym w instalacjach, w których nadzór wartości prądów różnicowych jest pożądanym, ale za wszelką cenę unikać należy zwykłych wyłączników różnicowoprądowych skłonnych do zadziałania zupełnie zbędnego albo przedwczesnego, np. w instalacjach komputerowych i w instalacjach bezpieczeństwa. Urządzenie RCM może wykrywać prąd różnicowy o dowolnym przebiegu w czasie i ma szeroki zakres nastawczy prądu i czasu zadziałania [15]. Naganna jest polska praktyka instalowania działających na wyłączenie przekaźników różnicowoprądowych PRP w głównych obwodach dużych budynków, również tuż za transformatorem wbudowanej stacji zasilającej budynek.

Ważne jest sprawdzenie doboru wyłączników do **środowiskowych warunków pracy**, bo błędy w tym zakresie mogą sprawić, że intensywność uszkodzeń wyłączników kilkakrotnie wzrosnąć:

- 1) Czy wyłączniki nie są niepotrzebnie poddawane narażeniom, których łatwo uniknąć, np. przenosząc do wnętrza budynku wyłącznik zainstalowany na zewnątrz, przenosząc do sąsiedniego suchego i czystego pomieszczenia tablicę rozdzielczą umieszczoną w pomieszczeniu mokrym albo zapyłonym, przenosząc w inne miejsce rozdzielnicę narażoną na drgania.

- 2) Czy spodziewana **temperatura otoczenia** nie wykracza poza zakres dopuszczony przez wytwórcę. Wyłączniki przeznaczone do pracy na wolnym powietrzu powinny być **mrozo odporne**, oznakowane najniższą dopuszczalną temperaturą otoczenia -25°C (tabl. 3).

- 3) Czy w razie narażenia na **działanie wody i/lub pyłu** wyłącznik jest zamknięty w obudowie o wystarczającym stopniu ochrony IP.

5. Sprawdzenie skuteczności ochrony drogą pomiarów

Przy badaniu stanu ochrony z użyciem doraźnie zmontowanego układu pomiarowego o należytej dokładności (tabl. 4) albo specjalnego miernika [9, 12, 13, 22] należy sprawdzić:

- a) czy sam wyłącznik działa prawidłowo,
- b) czy rezystancja uziemienia przewodu ochronnego PE albo impedancja pętli zwarcia L-PE ma wartość nie większą niż największa dopuszczalna dla badanego obwodu,
- c) czy wszystkie części przewodzące dostępne podlegające ochronie są niezawodnie połączone z przewodem ochronnym.

Tablica 4. Największy dopuszczalny błąd mierników do badania skuteczności ochrony w instalacjach z wyłącznikami różnicowoprądowymi według normy EN 61557

Mierzona wielkość	Największy dopuszczalny błąd [%]
Prąd zadziałania	0...+10 % $I_{\Delta n}$
Czas wyłączenia	20 % t_{max}
Napięcie dotykowe	0...+20 %

Przyczyny ewentualnych niesprawności wyłączników i innych nieprawidłowości stwierdzanych w toku badań pomoże ustalić tabl. 6, a załączony wzór protokołu z badań pomoże nie przeczyć żadnej istotnej czynności.

6. Sprawdzenie rzeczywistej wartości różnicowego prądu zadziałania

Od wyłącznika różnicowoprądowego wymaga się, aby rzeczywisty różnicowy przemienny prąd zadziałania był zawarty w przedziale $(0,50 \pm 1,0) \cdot I_{\Delta n}$ i to wystarczy sprawdzić, zwłaszcza przy badaniach odbiorczych, które dotyczą nowo wykonanych instalacji, z nowymi wyłącznikami. Wymagania stawiane rezystancji uziemienia przewodu ochronnego bądź impedancji pętli zwarciowej i tak zależą od wartości znamionowego różnicowego prądu zadziałania $I_{\Delta n}$, a nie od wartości rzeczywistego prądu zadziałania, która w eksploatacji może się zmieniać, chociażby po wymianie wyłącznika na inny o tej samej czułości. Nie sprawdza się rzeczywistej wartości prądu wyłączającego bezpieczników lub wyłączników nadprądowych, co dla skuteczności ochrony byłoby ważniejsze, nie należy więc przesadzać z obowiązkiem i precyzją pomiaru tego prądu w przypadku urządzeń ochronnych różnicowoprądowych.

Nie ma powodu, aby przy rutynowych badaniach dyskwalifikować próbki (testery), które nie mierzą wartości rzeczywistego różnicowego prądu zadziałania, a tylko pozwalają sprawdzić czy nie jest on większy od największej dopuszczalnej wartości ($I_{\Delta n}$). Warto też zwrócić uwagę, że chociaż żadna norma nie określa, w jaki sposób prąd probierczy ma narastać [7], to najbardziej miarodajne jest badanie w którym próba zadziałania odbywa się prądem narastającym, natomiast próba niezadziałania odbywa się prądem nagle przyłożonym, a ponadto obydwie próby odbywają się właśnie w wymienionej kolejności.

Wystarczające jest następujące badanie próbnikiem:

a) przykłada się prąd narastający stopniowo, w ciągu 5 s, od wartości $0,3 \cdot I_{\Delta n}$ do wartości $1,0 \cdot I_{\Delta n}$, sprawdzając, czy wyłącznik zadziała; nagle przyłożenie prądu $I_{\Delta n}$ na przeciąg 0,2 s jest mniej miarodajną wersją tej czynności, bo sprzyja wyzwoleniu wyłącznika, a w rzeczywistych warunkach zagrożenia prąd różnicowy też może płynnie narastać,

b) przykłada się nagle prąd $0,5 \cdot I_{\Delta n}$ na przeciąg co najmniej 0,2 s sprawdzając, czy wyłącznik nie zadziała.

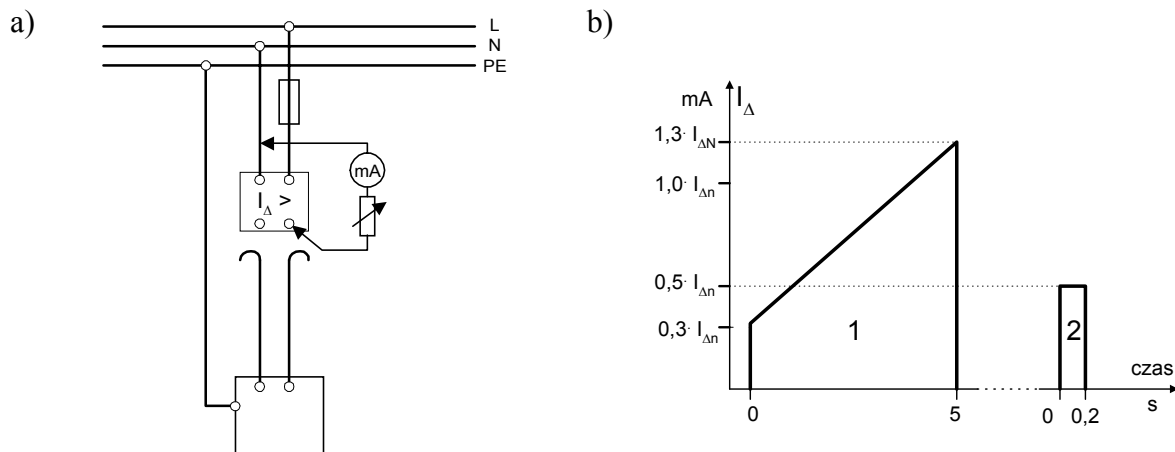
Podobnej procedury wypada przestrzegać przy pomiarze miernikiem rzeczywistego różnicowego prądu zadziałania (rys. 1) zwiększając płynnie wartość prądu od $0,3 \cdot I_{\Delta n}$ do $1,3 \cdot I_{\Delta n}$. Najbardziej prawdopodobna wartość rzeczywistego prądu zadziałania jest zbliżona do wartości średniej geometrycznej wartości granicznych dopuszczalnego pasma rozrzutu:

$$\sqrt{(0,5 \cdot I_{\Delta n}) \cdot (1,0 \cdot I_{\Delta n})} \approx 0,71 \cdot I_{\Delta n} .$$

Jeżeli jednak jest ona szczególnie mała, to łatwo o następujący błąd: przy prądzie probierczym narastającym stwierdza się rzeczywisty różnicowy prąd zadziałania, np. $0,55 \cdot I_{\Delta n}$ i niesłusznie wynik pomiaru uznaje za prawidłowy. W rzeczywistych warunkach użytkowania, przy nagłym wystąpieniu prądu różnicowego mniejszego od $0,50 \cdot I_{\Delta n}$, taki wyłącznik może zbędnie wyzwalać i na-

leżałoby dodatkowo sprawdzić, czy tak nie jest.

W przypadku wyłącznika mrozoodpornego (tabl. 3), przeznaczonego do pracy również zimą na wolnym powietrzu, pomiar należałoby wykonywać w tych najostrożniejszych warunkach (-25°C). Rzeczywisty różnicowy prąd zadziałania ma prawo być wtedy do 25% większy od wartości znamionowej i taką wartość $I_a = 1,25 \cdot I_{\Delta n}$ przyjmuje się za podstawę sprawdzania warunków skuteczności ochrony: wartości rezystancji uziemienia przewodu PE i/lub wartości długotrwałe występującego napięcia dotykowego.



Rys. 1. Pomiar rzeczywistego różnicowego prądu zadziałania (1) oraz badanie niezadziałania przy prądzie $0,5 \cdot I_{\Delta n}$ (2): a) układ pomiarowy; b) przebieg prądu probierczego w funkcji czasu

Zarówno przy używaniu miernika, jak i próbnika, wynik pomiaru lub badania może być fałszowany przez **prąd różnicowy** występujący w instalacji [19].

a) W obwodzie jednofazowym dodaje się on, niekoniecznie arytmetycznie, do prądu probierczego wymuszanego przez miernik lub próbnik i ułatwia wyzwalenie wyłącznika, zaniża wynik pomiaru rzeczywistego różnicowego prądu zadziałania.

b) W obwodzie trójfazowym prąd upływowy może oddziaływać w obu kierunkach, ułatwiać lub utrudniać wyzwalenie, ale jego wykrycie jest łatwe. Jeśli pomiar wykonany trzykrotnie, każdorazowo przy przyłączeniu miernika lub próbnika do innej fazy, daje zbliżony wynik, świadczy to o pomijalnie małej wartości wypadkowego prądu upływowego instalacji². W trakcie wspomnianych trzech pomiarów nie powinna się zmieniać konfiguracja instalacji, zwłaszcza zestaw załączonych urządzeń.

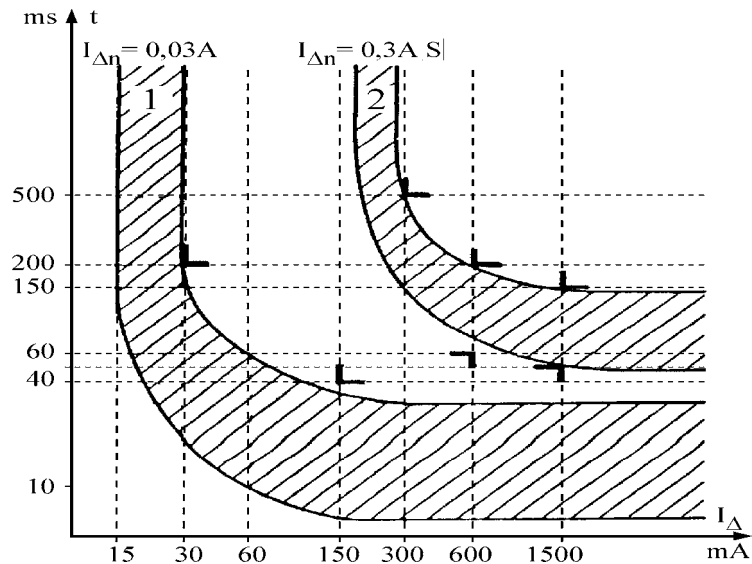
Jeśli przy pierwszym pomiarze otrzymuje się jako wynik rzeczywisty różnicowy prąd zadziałania trochę większy od wartości znamionowej $I_{\Delta n}$, to wyłącznika nie należy dyskwalifikować, lecz pomiar powtórzyć. Przy pierwszym zadziałaniu, po miesiącach czy latach nieprzerwanej pracy w stanie zamkniętym, wyłącznik może wykazywać zwiększony rzeczywisty różnicowy prąd zadziałania i znacznie większy (o $10 \div 30\%$) czas wyłączenia.

Dotychczasowe rozważania o pomiarze rzeczywistego prądu zadziałania dotyczą prądu różnicowego sinusoidalnego i tylko takie sprawdzenie umożliwia część dostępnych mierników, a zwłaszcza próbników. Wystarcza to w przypadku wyłączników o wyzwaleniu typu AC. **Wyzwalanie przy prądzie różnicowym jednokierunkowym pulsującym** (wyzwalanie A) zachodzi w wyłączniku za pomocą tego samego układu wyzwalającego i uważa się [24], że osobne sprawdzenie nie jest konieczne. **Wyzwalania przy prądzie wyprostowanym o małym tętnieniu** (wyzwalanie B) dokonuje jednak osobny układ wyzwalający, zasilany z osobnego przekładnika Ferrantiego, co wymaga odrębnego sprawdzenia. Pomiar taki umożliwia już większość mierników wyższej klasy, np. miernik MRP-200 firmy SONEL.

² Może to być wynikiem symetryzacji nawet dużych prądów upływowych poszczególnych faz.

7. Pomiar czasu wyłączenia wyłącznika

Mierniki przeznaczone do badania stanu ochrony w obwodach z wyłącznikami różnicowo-prądowymi umożliwiają pomiar czasu wyłączenia, wobec czego jest on chętnie przeprowadzany. Nie ma w tym nic złego, dopóki nie przypisuje mu się przesadnego znaczenia. Pomiar taki nie jest wymagany przez normę PN-IEC 60364-6-61 dotyczącą badań odbiorczych i nie jest konieczny, zwłaszcza w odniesieniu do nowych wyłączników.



Rys. 2. Zestawienie pasmowych charakterystyk czasowo-prądowych dwóch wyłączników różnicowo-prądowych: bezzwłocznego $I_{\Delta n} = 30$ mA (pasma 1) i wybiórczego $I_{\Delta n} = 300$ mA (pasma 2)
Oznaczniki podają wymagania przepisowe co do przebiegu charakterystyki. Nowsze przepisy międzynarodowe [16] nieco zmieniły wymagania dla wyłączników bezzwłoczných: największy dopuszczalny czas wyłączenia wynosi 300 ms przy prądzie różnicowym $I_{\Delta n}$ oraz 150 ms przy prądzie $2 \cdot I_{\Delta n}$.

Nie ma też norm ani przepisów nakazujących taki pomiar przy badaniach okresowych. Należałoby zatem zapytać, czy aktualny stan wiedzy przemawia za wykonywaniem go w ramach badania skuteczności ochrony w instalacjach z wyłącznikami przez lata używanymi i podlegającymi degradacji. Można powątpiewać z następujących powodów:

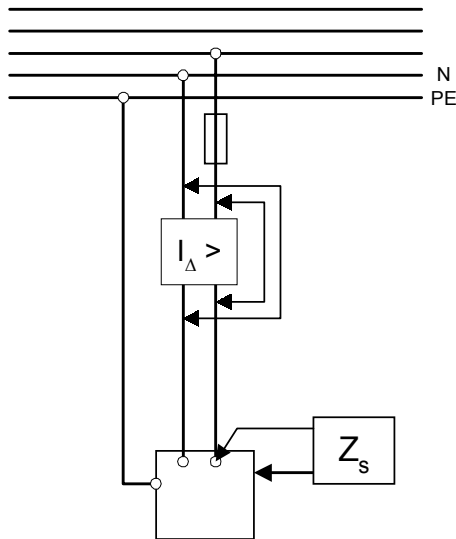
a) Żaden ze znanych mierników nie mierzy czasu wyłączenia. Czas wyłączenia jest to bowiem czas od chwili wystąpienia różnicowego prądu zadziałania do chwili przerwania łuku we wszystkich biegunach wyłącznika. Poprawnie interpretowany czas wyłączenia zależy od wartości wyłączanego prądu (prądu wyłączeniowego) i należałoby odpowiedzieć na pytanie, przy jakiej wartości prądu powinien być mierzony.

b) Dla formalnego stwierdzenia skuteczności ochrony ważny jest czas wyłączenia przy znamionowym różnicowym prądzie zadziałania wyłącznika $I_{\Delta n}$, a zwykły miernik pomiaru dokonuje przy rzeczywistym różnicowym prądzie zadziałania wyłącznika. Ponadto, przy tej granicznej wartości prądu zadziałania rozrzut wartości czasu jest szczególnie duży.

c) Przy znamionowym różnicowym prądzie zadziałania $I_{\Delta n}$ wyłączniki bezzwłoczne mają czas wyłączenia o wartości zbliżonej do 20 ms, a największa dopuszczalna jego wartość wynosi 300 ms. Prawdopodobieństwo, że wyłącznik wyłączy po czasie przekraczającym 300 ms jest bliskie zero. Albo otworzy się (w czasie znacznie krótszym niż 300 ms), albo nie otworzy się w ogóle. Inaczej mówiąc, sprawdzenie rzeczywistego różnicowego prądu zadziałania sprawę załatwia.

8. Badanie skuteczności ochrony w układzie TN

W układzie TN impedancja Z_s nieprzerwanej pętli zwarcia L-PE z całą pewnością jest wystarczająco mała, by umożliwić zadziałanie wyłącznika różnicowoprądowego. Pomiar jej z tego punktu widzenia nie byłby potrzebny. Podobnie jest z największym długotrwałe występującym napięciem dotykowym wywołanym przepływem prądu wyłączającego I_a wyłącznika. Wystarczy upewnić się, że jest zachowana ciągłość połączeń ochronnych.



Rys. 3. Pomiar impedancji pętli zwarcia w układzie TN-S u końca obwodu chronionego wyłącznikiem różnicowoprądowym (wyłącznik zbocznikowany)

Wypada zalecić, aby – wykraczając poza minimalne wymagania normy – w instalacjach TN, w obwodach chronionych wyłącznikami różnicowoprądowymi, warunek samoczynnego wyłączenia zasilania spełniały również zabezpieczenia zwarcia. Chodzi o to, aby – w razie gdyby wyłącznik różnicowoprądowy zawiódł – zwarcie L-PE mogło być wyłączone przez zwarcia zabezpieczenie obwodu. Zważywszy, że będą to zdarzenia rzadkie, projekt nowelizacji przepisów [21] dopuszcza, aby prąd wyłączający I_a zabezpieczenia zwarcia był wtedy wyznaczany dla czasu 5 s, niezależnie od stopnia zagrożenia porażeniem.

Chodzi również o to, że zwarcie L-N, nie pobudzające wyłącznika różnicowoprądowego, lecz wyłączone przez zabezpieczenie zwarcia, może – poprzez miejsce rozdzielenia przewodu PEN na przewody PE i N – udzielać napięcia przewodowi PE i przyłączonym do niego częściom przewodzącym dostępnym.

Przy badaniu stanu ochrony w układzie TN należy zatem postąpić następująco:

- 1) Przeprowadzić czynności omówione wyżej w rozdz. 1÷6.
- 2) Sprawdzić wszelkie warunki skuteczności zerowania, w tym – po zbocznikowaniu wyłącznika różnicowoprądowego w badanym obwodzie (i ewentualnie poprzedzających go wyłączników różnicowoprądowych) – zmierzyć impedancję pętli zwarcia u końca obwodu (rys. 3).

Są mierniki, które mierzą impedancję pętli zwarcia bez potrzeby bocznikowania wyłączników, bo pomiaru dokonują prądem mniejszym niż połowa znamionowego różnicowego prądu zadziałania ($0,5 \cdot I_{\Delta n}$) poprzedzającego wyłącznika, czyli prądem skrajnie małym. Z tego powodu pomiar może być obciążony bardzo dużym błędem. Jest to raczej sprawdzenie ciągłości połączeń ochronnych, pozytywny wynik gwarantuje zadziałanie wyłącznika w sytuacji zagrożenia. Nie wystarczy to jednak dla potwierdzenia spełnienia warunków skuteczności zerowania, tzn. nie gwarantuje, że gdyby wyłącznik różnicowoprądowy zawiódł, to zadziała w przewidzianym czasie zabezpieczenie nadprądowe.

9. Pomiar rezystancji uziemienia przewodu ochronnego PE i/lub napięcia dotykowego w układzie TT

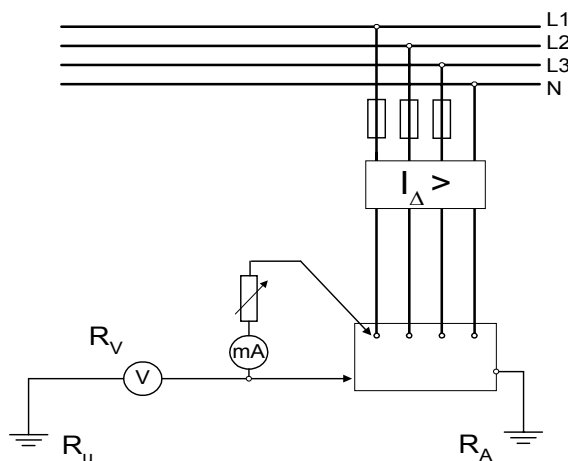
Pomiar taki może być wykonany specjalnym miernikiem albo za pomocą doraźnie zmontowanego układu pomiarowego. Rys. 4 i 7 przedstawiają dwie zasady takiego pomiaru w układzie TT. W obu przypadkach należy liczyć się z możliwością przzerwania połączeń ochronnych i pomiary należy rozpocząć od wymuszenia bardzo małego prądu, nie przekraczającego 10 mA, by sprawdzić napięcie dotykowe, jakie on wywołuje.

Układ pomiarowy z uziomem pomocniczym (z sondą napięciową) jest bardziej kłopotliwy, ale daje dokładniejszy wynik (rys. 4). Uziom pomocniczy R_u powinien znajdować się poza zasięgiem leja potencjału uziomu stanowiącego uziemienie przewodu ochronnego R_A , tzn. w odległości co najmniej równej 5-krotnej wartości wymiaru charakterystycznego [17] tego uziomu. Za najmniejszą dopuszczalną odległość uziomów (części podziemnych, a nie wyprowadzeń przewodów uziemiających) uważa się $10 \div 20$ m. Rezystancję uziemienia R_A mierzy się w sposób najprostszy, metodą techniczną. Przy użyciu niewielkiego prądu probierczego I_p , o wartości rzędu $I_{\Delta n}$ wyłącznika, wymusza się napięcie uziomowe U_E wskazywane przez woltomierz, o rezystancji wewnętrznej $R_v \geq 40$ k Ω , wobec tego rezystancja uziemienia:

$$R_A = \frac{U_E}{I_p}$$

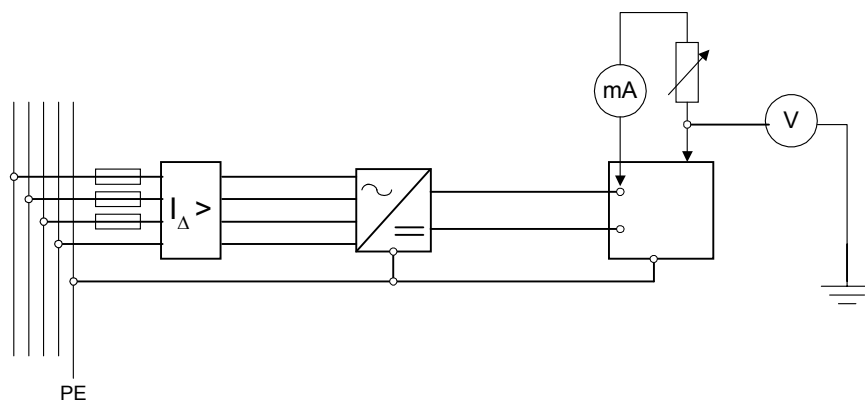
a największe występujące długotrwałe napięcie dotykowe:

$$U_T = U_E \cdot \frac{I_a}{I_p}$$



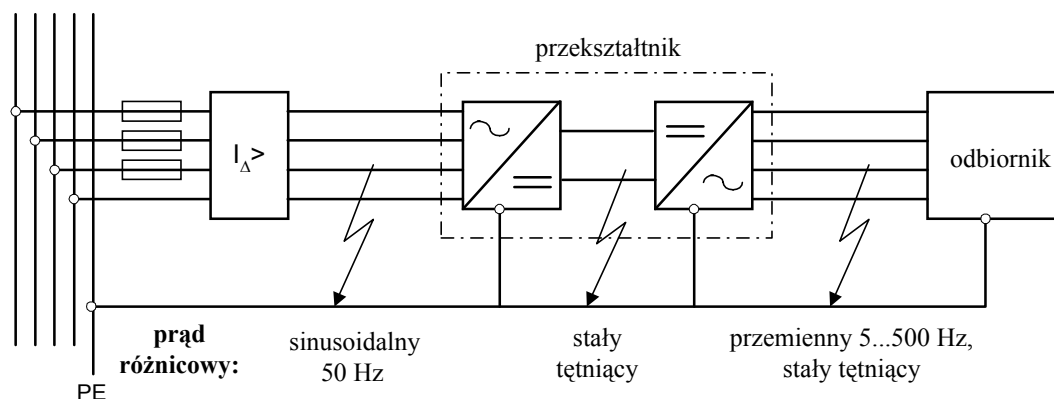
Rys. 4. Zasada badania skuteczności ochrony z użyciem uziomu pomocniczego R_u (sondy napięciowej)

W przypadku oddzielnego uziemienia przewodu ochronnego PE tylko jednego obwodu prąd wyłączający I_a wynosi $I_a = I_{\Delta n}$ dla wyłącznika bezzwłocznego lub krótkozwłocznego G, $I_a = 1,25 \cdot I_{\Delta n}$ dla wyłącznika mrozoodpornego (-25°C) oraz $I_a = 2 \cdot I_{\Delta n}$ dla wyłącznika wybiórczego S w obwodzie odbiorczym. Jeśli uziemienie jest wspólne dla wielu obwodów jednofazowych zasilanych z tej samej fazy, to jako prąd wyłączający I_a można przyjmować sumę wartości określonych jak wyżej dla każdego z obwodów. W innych przypadkach wspólnego uziemienia taką sumę oblicza się osobno dla każdej fazy i za podstawę przyjmuje największą z trzech wartości. Projekt nowelizacji przepisów [21] podaje sposób obliczania I_a dający wynik mniejszy, bliższy rzeczywistym warunkom, a przykłady obliczeń można znaleźć w dostępnych publikacjach [18].



Rys. 5. Badanie skuteczności ochrony przeciwporażeniowej w obwodzie wyjściowym przekształtnika, połączonym galwanicznie z obwodem wejściowym, chronionym wyłącznikiem różnicowoprądowym o wyzwalaniu typu B

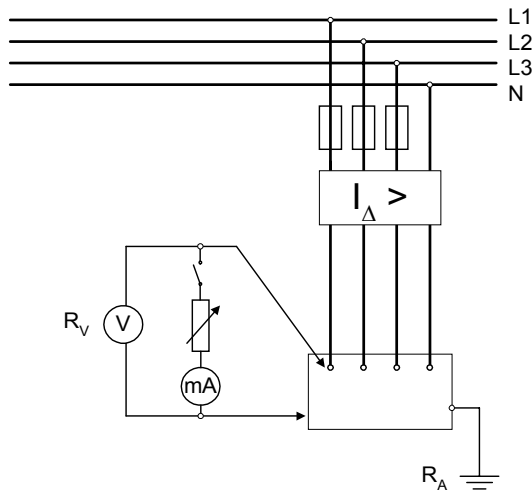
Najprostszy układ pomiarowy z rys. 4 może być użyty również do sprawdzania skuteczności ochrony w razie wystąpienia **prądu różnicowego niesinusoidalnego**, prądu o przebiegu odpowiadającym rzeczywistemu prądowi różnicowemu, np. prądu zawierającego składową stałą, prądu o przebiegu sterowanym fazowo lub prądu przemiennego odkształconego o częstotliwości innej niż 50 Hz. Oczywiście użyć trzeba mierników (rys. 5) zapewniających należyłą klasę dokładności przy występujących w obwodzie przebiegach prądu i napięcia. Przebieg prądu różnicowego może być rozmaity zależnie od tego, w którym miejscu obwodu i w którym biegunie występuje zwarcie doziemne (rys. 6) i jaki jest stan wysterowania przekształtnika. We wszelkich charakterystycznych punktach obwodu należałoby zatem wykonać pomiar sprawdzając zarazem reakcję wyłącznika na prąd różnicowy o nietypowym przebiegu.



Rys. 6. Przykładowe miejsca uszkodzenia izolacji w obwodzie z przekształtnikiem dające rozmaity przebieg prądu różnicowego

Pamiętać należy, że obowiązują wtedy inne wymagania co do największego dopuszczalnego napięcia dotykowego U_L^* i co do różnicowego prądu zadziałania wyłącznika (prądu niezadziałania i prądu wyłączającego I_a^* [8]). W układzie z rys. 5 można też zmierzyć rzeczywistą wartość różnicowego prądu zadziałania wyłącznika i można się przekonać, czy przy występującym w obwodzie przebiegu prądu różnicowego wyłącznik w ogóle zadziała. Jeżeli tak, to można uznać, że chroni on również obwód pośredniczący oraz obwód wyjściowy przekształtnika i dochodzą dodatkowe wymagania dla rezystancji uziemienia przewodu ochronnego:

$$R_A \leq \frac{U_L^*}{I_a^*}$$



Rys. 7. Zasada badania skuteczności ochrony bez użycia sondy pomiarowej napięciowej (pomiar wykonuje się jednokrotnie przyłączając układ pomiarowy do fazy L1 lub L2 lub L3)

Układ pomiarowy bez uziomu pomocniczego (rys. 7) jest najprostszą wersją układu pomiaru rezystancji pętli zwarcia doziemnego. Różnica napięć U_o w stanie jałowym oraz U_I po obciążeniu pętli prądem probierczym I_p pozwala obliczyć rezystancję pętli R_s , którą utożsamia się z wartością rezystancji uziemienia przewodu ochronnego R_A .

W układzie TT wynik jest zawyżony o kilka omów (o wartość rezystancji uziemienia roboczego sieci i rezystancji przewodów). Jako rezystancję uziemienia przewodu ochronnego uważa się wartość:

$$R_A \approx R_p = \frac{U_o - U_I}{I_p}$$

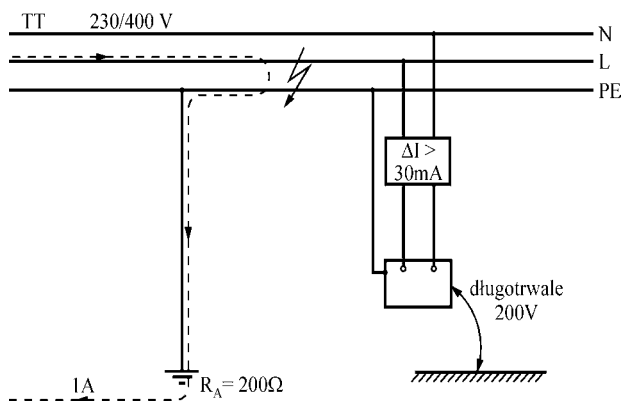
a za największe długotrwale występujące napięcie dotykowe:

$$U_T = (U_o - U_I) \frac{I_a}{I_p}$$

W obu powyższych wzorach występuje różnica napięć ($U_o - U_I$). Jeśli jest ona niewielka i wyznaczana z osobnych pomiarów obu napięć, wynik jest obarczony dużym błędem. Np. woltomierzem wskazówkowym klasy 1,5 o zakresie 300 V (błąd $\pm 4,5$ V) zmierzono $U_o = 220$ V (wartość rzeczywista $220 \pm 4,5$ V), a następnie $U_I = 210$ V (wartość rzeczywista $210 \pm 4,5$ V). Różnica napięć ($U_o - U_I$) = 10 V została wyznaczona z błędem ± 9 V, tzn. ± 90 %, a jest to tylko błąd częściowy, na który nakładają się błąd z powodu możliwej zmiany napięcia w sieci między jednym a drugim pomiarem oraz błąd pomiaru prądu I_p .

Oba pomiary, o których mowa, mogą być wykonane miernikiem o sterowaniu mikroprocesorowym, który po przyłączeniu i uruchomieniu wykonuje wymaganą sekwencję pomiarów, a wyniki wskazuje i/lub zapisuje w pamięci z możliwością wydruku. Każdorazowo sprawdzić jednak należy, jaki jest przebieg prądu probierczego miernika, a zatem sprawdzić czy do określonego pomiaru on się w ogóle nadaje.

Jeśli wystarcza sam pomiar rezystancji uziemienia przewodu ochronnego, można go oczywiście przeprowadzić dowolną uznaną metodą pomiarową, np. metodą kompensacyjną. Traci się wtedy możliwość jednoczesnego sprawdzenia wyzwalania wyłącznika, pomiaru bądź sprawdzenia wartości rzeczywistego prądu zadziałania i pomiaru największego długotrwale występującego napięcia dotykowego.

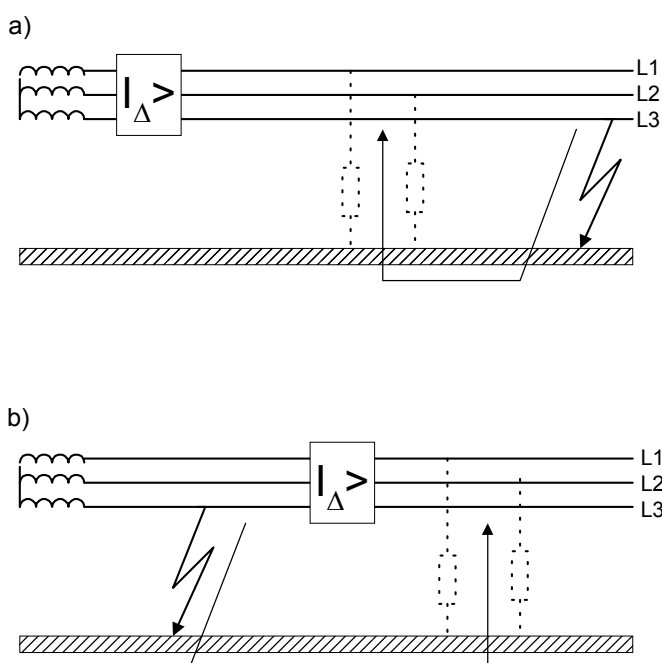


Rys. 8. Następstwa zwarcia L-PE w układzie TT

Wszystkie omówione zabiegi na nic się zdadzą, jeśli w układzie TT pozostawi się możliwość zwarcia L-PE w jakimkolwiek obwodzie nie chronionym wyłącznikiem różnicowoprądowym (rys. 8). Zwarcia takiego nie wyłączy zabezpieczenie zwarciorowe, bo prąd jest za mały, a napięcie dotykowe o wartości zbliżonej do napięcia fazowego występuje długo, również w obwodach z najczulszymi wyłącznikami.

10. Pomiar rezystancji uziemienia przewodu ochronnego PE i/lub napięcia dotykowego w układzie IT

W układzie IT badanie skuteczności ochrony przeprowadza się podobnie jak w układzie TT pod warunkiem wszakże, iż wymuszany prąd probierczy ma zamknięty tor powrotny przez doziemną admityncję rozległej sieci czy instalacji albo przez impedancję pośredniego uziemienia roboczego układu. W przeciwnym razie trzeba – na czas pomiaru i z zachowaniem środków ostrożności – takie pośrednie uziemienie robocze wykonać.



Rys. 9. Nieoczekiwane zachowanie się wyłącznika różnicowoprądowego w układzie IT po pierwszym zwarcie doziemnym: a) wyłącznik nie reaguje na zwarcie w chronionym obwodzie; b) wyłącznik wyzwał w wyniku zwarcia poza chronionym obwodem

Nie dość doświadczeni „pomiarowcy” powinni stronić od badania stanu ochrony w układzie IT. Wiele pułapek kryją w sobie nie tylko pomiary. Rys. 9 wyjaśnia nieoczekiwane zachowanie się wyłączników różnicowoprądowych w układzie IT przy pierwszym zwarcie doziemnym. Tak bywa, jeśli doziemna admityncja obwodu, o który chodzi, jest duża w porównaniu z doziemną admityncją

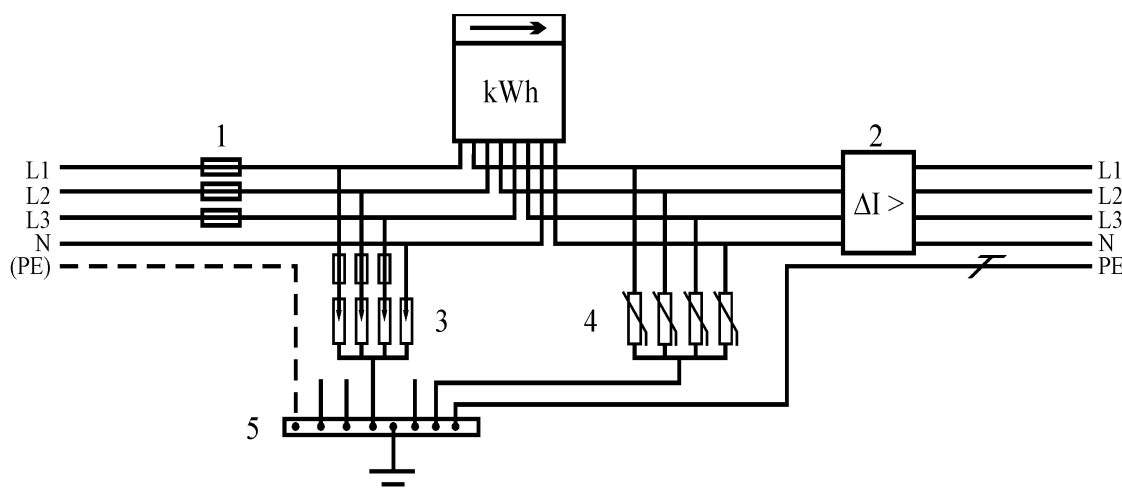
pozostałej części układu IT. O tym, czy wyłącznik zadziała decyduje część prądu zwarcia jednofazowego powracająca przez doziemną admitancję sieci lub instalacji po przeciwnej – w stosunku do miejsca zwarcia – stronie wyłącznika.

11. Zapobieganie zbędnym zadziałaniom wyłączników różnicowoprądowych

Powtarzające się zbędne zadziałania wyłączników różnicowoprądowych mogą być utrapieniem użytkowników, którzy od sprawdzającego stan instalacji będą oczekiwali wyeliminowania ich przyczyny. Są co najmniej cztery powody zbędnych zadziałań:

1) Zbędne zadziałania są wynikiem **błędnych połączeń** w chronionym obwodzie, za wyłącznikiem. Na ogół okazuje się wtedy, że przewód neutralny N jest połączony albo bezpośrednio z przewodem ochronnym PE, albo uziemiony, albo połączony z przewodem neutralnym N innego obwodu (lub innych obwodów, na wspólnej szynie neutralnej rozdzielnicy).

2) Zbędne zadziałanie wyłącznika wywołuje, nie przekraczający wartości dopuszczalnej, **ustalony prąd upływowy** chronionego obwodu. Przyczyną może być wadliwość wyłącznika, którego rzeczywisty prąd zadziałania jest mniejszy niż połowa znamionowego różnicowego prądu zadziałania ($0,5 \cdot I_{\Delta n}$). Tak bywa wyjątkowo, na ogół okazuje się, że zastosowano wyłącznik o zbyt małym znamionowym różnicowym prądzie zadziałania albo użyto wyłącznika różnicowoprądowego w sytuacji, która się do tego nie kwalifikuje, gorzej – jest do tego oczywistym przeciwskazaniem. Dla postawienia diagnozy trzeba poprawnie zmierzyć prąd różnicowy obwodu [19].



Rys. 10. Przykład prawidłowego usytuowania urządzeń ochrony przeciwprzepięciowej instalacji zasilanej z sieci napowietrznej: 1 - główne zabezpieczenie nadprądowe, 2 - wyłącznik różnicowoprądowy, 3 - ochronniki gazowładcowe (I stopień ochrony przeciwprzepięciowej), 4 - warystorowe ograniczniki przepięć (II stopień ochrony), 5 - główna szyna wyrównawcza

3) Zbędne zadziałanie wyłącznika wywołuje **przejściowy prąd różnicowy** (przejściowy prąd upływowy) chronionego obwodu [19]. Zdarza się to przy załączaniu grupy obwodów odbiorczych wykazujących znaczne pojemności doziemne, np. w filtrach przeciwzakłóceń albo przy długich trasach przewodowych z użyciem metalowych rur lub korytek albo przewodów ekranowanych ($0,5 \div 1$ mA na 1 m długości przewodu). Zaradzić temu może użycie wyłącznika krótkozwłocznego o oznaczeniu, jak w tabl. 3, o czasie przetrzymywania zwiększonym do 10 ms (tabl. 5). Wyłącznik taki ma największy czas wyłączenia identyczny jak wyłącznik bezzwłoczny i na tych samych zasadach działa wybiórczo z poprzedzającym wyłącznikiem wybiórczym (selektywnym) oznaczonym literą S (rys. 2).

Tablica 5. Czas działania wyłączników różnicowoprądowych przy prądzie różnicowym $5 \cdot I_{\Delta n}$

Rodzaj wyłącznika	Najmniejszy czas przetrzymywania [ms]	Największy czas wyłączenia [ms]
Bezzwłoczny	nieokreślony ($\ll 10$)	40
Krótkozwłoczny G	10	40
Wybiorczy S	50	150

4) Zbędne zadziałanie wyłącznika wywołuje **przebiecie** i towarzyszący mu przejściowy prąd różnicowy. Przyczyną może być przebiecie atmosferyczne bezpośrednie lub indukowane albo przebiecie łączeniowe, np. podczas wyłączania zwarcia przez bezpiecznik w sąsiednim obwodzie. Zdarzenia te są częstsze w instalacjach zasilanych linią napowietrzną; są też 2÷4-krotnie częstsze w układzie TT niż w układzie TN. Takich zbędnych zadziałań unika się instalując wyłączniki (tabl. 3) o wystarczającej odporności na udarowy prąd różnicowy o przebiegu $8/20 \mu s$:

- bezzwłoczne – 250 A (dawniej), 500 A (obecnie),
- krótkozwłoczne G, KV – 3 kA,
- wybiorcze S – 5 kA (rzadziej 3 kA).

Dla zapobiegania takim zadziałaniom odpowiednio sytuje się urządzenia ochrony przeciwprzebieciowej względem wyłączników różnicowoprądowych; I i II stopień ochrony przeciwprzebieciowej powinien znaleźć się przed wyłącznikiem bezzwłocznym (rys. 10). Pamiętać też trzeba, że dostawca energii tylko w przypadkach koniecznych zgadza się na instalowanie ograniczników przepięć przed rozliczeniowym pomiarem energii.

Tablica 6. Nieprawidłowości w działaniu układu ochrony z wyłącznikiem różnicowoprądowym

Objawy	Możliwe przyczyny	Sposób rozpoznania
1) Zamknięty wyłącznik nie otwiera się po naciśnięciu przycisku kontrolnego T	a) Uszkodzenie zamka wyłącznika i/lub szczepienie styków.	a) Wyłącznik nie daje się otworzyć przy użyciu dźwigni napędowej (przycisku wyłączającego).
	b) Brak napięcia co najmniej w jednej fazie. Co najmniej jeden z biegunów wyłącznika nie jest przyłączony (np. wyłącznik 4-biegunowy użyty w obwodzie dwuprzewodowym). Za małe napięcie w obwodzie kontrolnym (np. wyłącznik użyty w obwodzie o napięciu znacznie niższym niż napięcie znamionowe wyłącznika).	b) Sprawdzić obecność i wartość napięcia na zaciskach wejściowych i wyjściowych zamkniętego wyłącznika. Sprawdzić sposób przyłączenia wyłącznika.
	c) Przerwa w obwodzie kontrolnym (uszkodzony rezystor, luźny zacisk).	c) Wywołać przepływ prądu różnicowego przekraczającego $I_{\Delta n}$. Przez żarówkę 220 V, 25÷150 W zacisk wyjściowy zamkniętego wyłącznika uziemić lub połączyć z zaciskiem wejściowym innego bieguna. Wyłącznik otworzy się.
	d) Uszkodzenie wyzwalacza różnicowego: przerwa lub zwarcie w obwodzie, uszkodzenie sprężyny zwrotnej wyzwalacza, „przyklejenie” zwory.	d) O uszkodzeniu wyzwalacza świadczy negatywny wynik zabiegów wymienionych wyżej (a, b, c).
2) Wyłącznik nie otwiera się mimo wystąpienia na częściach objętych ochroną napięcia dotykowego przekraczającego wartość dopuszczalną	a) Uszkodzenie wyłącznika: wada wyzwalacza różnicowego lub zamka, szczepienie styków.	a) Wyłącznik nie daje się otworzyć przy użyciu przycisku wyłączającego ani przycisku probierczego T.
	b) Błędne połączenia. Przewód ochronny PE przechodzi przez przekładnik Ferrantiego. Za wyłącznikiem przewód neutralny N połączony z przewodem ochronnym.	b) Sprawdzić układ połączeń.
	c) Brak przewodu ochronnego albo przerwanie jego ciągłości. Nadmierna rezystancja uziemienia.	c) Sprawdzić ciągłość przewodu ochronnego, stan jego połączeń. Zmierzyć rezystancję uziemienia przewodu ochronnego.
	d) Napięcie dotykowe przeniesione przez przewód ochronny PE przy zwarcie L-PE w innym obwodzie nie chronionym wyłącznikiem różnicowoprądowym albo z uszkodzonym wyłącznikiem (rys. 8).	d) Otworzyć wyłącznik. Napięcie dotykowe utrzymuje się nadal.

	e) Układ zasilający nie ma uziemienia roboczego (układ IT), a doziemna admitancja układu przed wyłącznikiem jest mała.	e) Żarówka (o mocy $15 \div 100$ W w instalacji 220 V), włączana kolejno między jeden z zacisków wejściowych otwartego wyłącznika a część przewodzącą obciążenia, nie świeci. Ścisłejsze rozpoznanie – przez pomiar prądu zwarcia doziemnego przed otwartym wyłącznikiem.
	f) Napięcie dotykowe wywołuje prąd różnicowy o przebiegu, na który wyłącznik nie reaguje.	f) Wyłącznik AC użyty w obwodzie z przekształtnikiem. Wyłącznik A użyty w obwodzie narażonym na prąd różnicowy stały o małym tętnieniu.
3) Wyłącznik często zadziałuje albo otwiera się przy każdej próbie załączenia obwodu.	a) Wadliwy układ połączeń. Przewód neutralny N nie przechodzi przez przekładnik Ferrantiego i/lub za wyłącznikiem jest uziemiony (np. połączony z przewodem ochronnym PE).	a) Sprawdzić sposób przyłączenia wyłącznika. Sprawdzić megaomomierzem, czy wszystkie przewody za wyłącznikiem są izolowane od ziemi.
	b) Uszkodzenie zamka wyłącznika. Uszkodzenie wyzwalacza różnicowego, np. zakleszczenie zwory, spadek wartości iloczynu energetycznego $(B \cdot H)_{max}$ magnesu trwałego.	b) Wyłącznik pozbawiony napięcia nie daje się zamknąć, bądź otwiera się natychmiast po zamknięciu.
	c) Uszkodzenie przycisku kontrolnego T lub zwarcie w obwodzie kontrolnym.	c) Zamknięty wyłącznik odłączony od instalacji nie otwiera się, ale otwiera się natychmiast po podaniu napięcia na zaciski wejściowe.
	d) Wyłącznik zbyt czuły, o zbyt małym $I_{\Delta n}$.	d) Zmierzyć ustalony prąd upływowy chronionego obwodu.
	e) Nadmierny przejściowy prąd upływowy w obwodzie, przy załączaniu niektórych urządzeń.	e) Sprawdzić wartość przejściowego prądu upływowego. Wymienić wyłącznik bezzwłoczny na krótkozwłoczny G.
4) Występują sporadycznie zbędne zadziałania wyłącznika podczas burzy.	a) Instalacja (zasilana z sieci napowietrznej) nie ma urządzeń ochrony przeciwprzebiegowej.	a) Sprawdzić, w razie braku zaleceń właściwą ochronę przeciwprzebiegową.
	b) Wyłącznik nie dość odporny na przepływ udarowego prądu różnicowego; dotyczy zwłaszcza starszych wyłączników bezzwłocznych.	b) Sprawdzić i ew. zalecić wymianę na nowszy wyłącznik bezzwłoczny (500 A), krótkozwłoczny G (3 kA) lub wybiórczy S (5 kA).

Ogólna ocena stanu ochrony przeciwporażeniowej	Ocena	
	dobrze	źle
Rezystancja izolacji przewodów (protokół nr..... z dn.....) najmniejsza stwierdzona wartość:.....kΩ		
Rezystancja izolacji odbiorników (protokół nr..... z dn.....) najmniejsza stwierdzona wartość:.....kΩ		
Stan obudów urządzeń elektrycznych		
Klasa ochronności zainstalowanych urządzeń: ¹⁾ 0 I II		
Koordinacja gniazd wtyczkowych i wtyczek		
Przewody ochronne PE: typ..... przekrój.....mm ² sposób ułożenia, ochrona od uszkodzeń mechanicznych oznakowanie barwne		

Układ TN-S ¹⁾

Wyniki pomiarów	Ocena	
	dobrze	źle
Miejsce pomiaru:..... Zmierzona impedancja pętli $Z_s = \dots\dots\dots\Omega$ Wartość wymagana ze względu na zabezpieczenie zwarciovie obwodu (str. 1) $Z_s \leq \frac{U_o}{I_a} = \dots\dots\dots = \Omega$		
Sprawdzenie ciągłości połączeń ochronnych innych urządzeń		

Układ TT ¹⁾

Wyniki pomiarów	Ocena	
	dobrze	źle
Miejsce pomiaru:..... Zmierzona rezystancja uziemienia przewodu PE $R_A = \dots\dots\dots\Omega$ Wartość wymagana ze względu na przyłączone obwody wyłączników $Z_s \leq \frac{U_o}{I_{asum}} = \dots\dots\dots = \Omega$		
Sprawdzenie ciągłości połączeń ochronnych innych urządzeń		

Użyta aparatura pomiarowa (nazwa, typ, nr fabryczny):

1.
2.
3.

Przeprowadzający badanie (tytuł, imię i nazwisko, uprawnienia, podpis):

1.
2.

Literatura

1. Bödeker K.: Fehler beim Prüfen von FI-Schutzeinrichtungen. *Elektropraktiker*, 1991, nr 4, s. 239-242.
2. Bödeker K.: Prüfen von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen. *Elektropraktiker*, 1990, nr 11, s. 435-438.
3. Bödeker K.: Prüfung der Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen. *Elektropraktiker*, 1995, nr 6, s. 520-522.
4. Bödeker K.: Prüfmethode „Ansteigender Prüfstrom“ bei FI-Schutzeinrichtungen. *Elektropraktiker*, 1994, nr 4, s. 314-322.
5. Bödeker K., Heidbüchel F.-J.: Neue Generation selbstüberwachender FI-Schutzschalter. *Der Elektro- und Gebäudetechniker*, 2000, nr 19, s. 18-28.
6. Bödeker K., Kindermann R.: Erstprüfung elektrischer Gebäudeinstallation. Auswahl, Einsatz, Prüfung. Verlag Technik GmbH, Berlin, 1999.
7. Bödeker K.: Prüfung von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen mit Messgeräten ohne ansteigenden Prüfstrom. *Der Elektro- und Gebäudetechniker*, 2002, nr 21, s. 16-18.
8. Bödeker K., Kindermann R.: Fehlerstrom-Schutzschalter. Auswahl, Einsatz, Prüfung. Verlag Technik GmbH, Berlin, 1997.
9. Ferfet M.: Mierniki do badań i pomiarów instalacji elektrycznych. *Elektroinstalator*, 2002, nr 9, s. 120-121, nr 10, s. 80-82.
10. Gebhart W.: Bestimmungen für Geräte zum Prüfen von FI-Schutzeinrichtungen. *Elektropraktiker*, 1997, nr 1, s. 94.
11. Gothsch H.: Prüfen von selbst überwachenden Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen – Stellungnahme der BGFE. *Der Elektro- und Gebäudetechniker*, 2002, nr 22, s. 15.
12. Halicki L.: Przyrządy do pomiaru parametrów wyłączników różnicowoprądowych. *Elektroinstalator*, 1998, nr 12, s. 58-61.
13. Halicki L.: Nowe przyrządy pomiarowe dla elektryków. *Elektroinstalator*, 2000, nr 7-8, s. 98-102.
14. Hering E.: Zur Prüfung der FI-Nullung. *Elektropraktiker*, 1985, nr 5, s. 149-150.
15. Hofheinz W.: Fehlerstrom-Überwachung in elektrischen Anlagen. VDE-Verlag, Berlin-Offenbach, 1998.
16. Kaiser L.: Abschaltcharakteristiken von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen. *Elektromeister + Deutsches Elektrohandwerk*. 1999, nr 20, s. 1641-1649; 1999, nr 23, s. 1983-1990.
17. Musiał E.: Instalacje i urządzenia elektroenergetyczne. WSiP, Warszawa, 2001.
18. Musiał E.: Kłopotliwe przypadki stosowania wyłączników różnicowoprądowych. Konferencja Naukowo-Techniczna „Wyłączniki ochronne różnicowoprądowe”, Kraków, 1998. Materiały konferencyjne, s. 50-57.
19. Musiał E.: Pomiary prądów upływowych i prądów różnicowych w instalacjach elektrycznych. Ogólnopolskie Szkolenie Techniczne „Pomiary ochronne w instalacjach elektrycznych niskiego i wysokiego napięcia prądu przemiennego oraz prądu stałego”, Tarnowo Podgórne k/Poznań, 4-5 marca 2003 r.
20. Musiał E., Jabłoński W.: Warunki techniczne jakim powinny odpowiadać urządzenia elektroenergetyczne niskiego napięcia w zakresie ochrony przeciwporażeniowej. Nowelizacja projektu przepisów. Biuletyn SEP, INPE „Informacje o normach i przepisach elektrycznych”, nr 24, marzec 1999, s. 3-56.
21. Musiał E.: Zasady doboru wyłączników różnicowoprądowych. Konferencja Naukowo-Techniczna „Wyłączniki ochronne różnicowoprądowe”, Kraków, 1998. Materiały konferencyjne, s. 9-16.
22. Nowaczyk A.: Pomiary parametrów instalacji elektrycznych miernikiem MIE-500. *Elektroinstalator*, 2002, nr 9, s. 32-34.
23. Winkler A., Lienenklaus E., Rontz A.: Sicherheitstechnische Prüfungen in elektrischen Anlagen

- mit Spannungen bis 1000 V. VDE-Verlag, Berlin-Offenbach, 1995.
24. Winkler A.: Prüfungen in Netzen mit Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen. Elektropraktiker, 1997, nr 1, s. 95-98.
 25. PN-IEC 60364-6-61:2000. Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Sprawdzanie. Sprawdzanie odbiorcze.
 26. IEC 1557 (Draft) Part 6: Measuring equipment for testing the operation of residual current devices (RCD) and the effectiveness of protective measures in TT and TN systems.
 27. Project IEC 60364-6-62:Electrical installations of buildings. Verification. Periodic inspection and testing.

Dane bibliograficzne:

Musiał E.: **Badania stanu ochrony przeciwporażeniowej w instalacjach z wyłącznikami różnicowoprądowymi.** W: [Materiały] Ogólnopolskie Szkolenie Techniczne „Pomiary ochronne w instalacjach elektrycznych niskiego i wysokiego napięcia prądu przemiennego oraz prądu stałego” Poznań-Tarnowo Podgórne, marzec 2003 rok. Poznań: ENERGO-EKO-TECH. 2003, s. [1-24].