

Sprawdzanie stanu wyłączników różnicowoprądowych

Pytania¹

Przy weryfikacji protokołów sprawdzania odbiorczego i sprawdzania okresowego instalacji elektrycznych najczęściej wątpliwości wiąże się z wyłącznikami różnicowoprądowymi. Bylibyśmy wdzięczni za wyjaśnienie następujących wątpliwości.

1. Spotykamy się często z taką sytuacją. Powstaje nowy budynek wielorodzinny i w każdym mieszkaniu jest zainstalowanych około trzech wyłączników różnicowoprądowych jedno- lub trójfazowych. Część mieszkań jest już wykończonych i pomiarowiec wykonuje w nich pomiary m.in. prądu różnicowego zadziałania wyłączników, czasu zadziałania wyłączników itp. Natomiast sąsiednie mieszkania nie są jeszcze wykończone, przewody instalacji wiszą luźno na ścianach, zachłapane mokrą farbą. Czy takie postępowanie może mieć wpływ na wyniki pomiarów prądu zadziałania wyłączników różnicowoprądowych?
2. Zgodnie z normą PN-IEC 611008-1 wymagana wartość rzeczywistego prądu różnicowego zadziałania wyłączników różnicowoprądowych z wyzwaniem typu A wynosi $I_{\Delta} \leq 1,4 I_{\Delta n}$ tzn. dla wyłącznika o znamionowym prądzie różnicowym 30 mA wartość ta wynosi $I_{\Delta} \leq 42$ mA. W wielu przypadkach pomiarowiec kwestionował jakość wyłączników ze względu na przekroczony prąd zadziałania wyłączników. Czy słusznie postępował?
3. Mieliliśmy kilka przypadków, kiedy elektromonter w celu zbadania poprawności działania wyłączników różnicowoprądowych zwierzał kontrolką żarówkową przewody N i PE za wyłącznikiem. Jeżeli wyłącznik po zwarciu wyłączył, to uznawał, że wyłącznik jest uszkodzony. Czy takie sprawdzanie jest miarodajne?

Odpowiedź na 1. pytanie

Jednofazowe bądź **trójfazowe** są urządzenia dostarczające napięcia i prądu odpowiednio jedno- bądź trójfazowego (prądnica, przetwornica, przekształtnik) i/lub działające poprawnie pod warunkiem zasilania napięciem i prądem odpowiednio jedno- bądź trójfazowym (transformator, przetwornica, przekształtnik, silnik, piec, nagrzewnica). Natomiast wszelkie łączniki: odłączniki, rozłączniki, wyłączniki, uziemniki czy zwierniki są **jednobiegunowe**, **dwubiegunowe**, **trójbiegunowe** bądź **czterobiegunowe**, zależnie od liczby ich torów głównych. Do poprawnego działania łączniki 3- lub 4-biegunowe nie potrzebują trzech napięć przesuniętych w czasie o 1/3 okresu zmienności, ale potrzebują tego na przykład 3-fazowe silniki lub transformatory.

Zależnie od okoliczności w obwodach 3-fazowych stosuje się łączniki, również wyłączniki różnicowoprądowe, 3- lub 4-biegunowe. Jeżeli liczba biegunów nie jest wiadoma, to można zgrabnie wybrnąć mówiąc albo pisząc o wyłącznikach w obwodach 3-fazowych. Natomiast w obwodach 1-fazowych wyłączniki różnicowoprądowe z zasady są 2-biegunowe, podczas gdy inne łączniki mogą być, stosownie do potrzeb, 1- bądź 2-biegunowe.

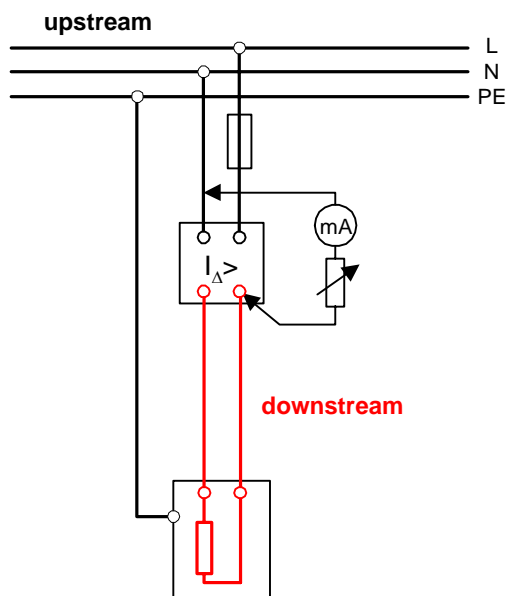
Łatwa jest odpowiedź na pytanie, czy i jaki (w którym miejscu powstający) wpływ prądu może wpływać na wynik sprawdzania rzeczywistego prądu zadziałania wyłącznika różnicowoprądowego. Trzeba sobie wyobrazić czynną instalację i otworzyć² ten wyłącznik. Wskutek tego obwód

¹ Pytania ze spotkania w Sztynorcie zorganizowanego 11 czerwca 2010 r. przez ETI Polam.

² Otworzyć wyłącznik to nie znaczy zdjąć jego pokrywę czy obudowę. To znaczy otworzyć zestyki w jego torach głównych, to znaczy wyłączyć nim obwód, który on chroni lub zabezpiecza, albowiem **wyłącznik i każdy inny łącznik można zamknąć albo otworzyć**, natomiast **załączyć albo wyłączyć można obwód elektryczny, linię przesyłową, odbiornik energii, źródło energii, transformator albo przekształtnik**. Takie jest poprawne nazewnictwo.

lub grupa obwodów zostanie pozbawiona napięcia i tylko ta część instalacji (oznaczona na czerwono na rys. 1) fałszuje wynik pomiaru rzeczywistego prądu różnicowego zadziałania, jeśli występuje w niej prąd upływowy o znaczącej wartości. Na wartość prądu upływowego wpływa rezystancja izolacji tej części instalacji, rezystancja ograniczników przepięć oraz występujące w niej pojemności (pojemność geometryczna układów izolacyjnych oraz pojemność kondensatorów, np. w filtrach przeciwzakłóceń). Wspomnianego błędu można uniknąć odłączając od wyłącznika zasilany przezeń obwód oznaczony czerwoną linią na rys. 1.

Na wynik pomiaru nie mają żadnego wpływu parametry innych obwodów, tzn. obwodów poprzedzających badany wyłącznik ani obwodów przyłączonych równoległe z obwodami zasilanymi przez rozpatrywany wyłącznik.



Rys. 1. Pomiar rzeczywistego prądu różnicowego zadziałania wyłącznika różnicowoprądowego

W języku polskim nie ma w użyciu prostych określeń potrzebnych do usytuowania względem rozpatrywanego wyłącznika – wspomnianych wyżej – jednej i drugiej części instalacji. Nie wystarczy powiedzieć **przed** lub **za** wyłącznikiem, bo to zależy od kierunku patrzenia. Chodzi o określenia analogiczne do używanego w przypadku przepływu wody w rzece. Takie określenia są w wielu innych językach i odnoszą się zarówno do kierunku przepływu wody w ciekach, jak i kierunku przepływu energii elektrycznej i innych mediów. Najbardziej zwięzłe i jednoznaczne w tej mierze, bez wyrażeń synonimicznych, są języki: angielski i francuski, a dość nieporadne są języki słowiańskie i języki krajów strefy śródziemnomorskiej (tabl. 1).

Tabl. 1. Wielojęzyczne określenia usytuowania obiektów względem wybranego punktu strumienia danego medium

język angielski	downstream	upstream
język francuski	en aval	en amont
język niemiecki	stromabwärts, flussabwärts	stromaufwärts, flussaufwärts
język hiszpański	con la corriente, río abajo	a contracorriente, río arriba
język włoski	lungo la corrente, a valle	contro corrente, a monte
język polski	z prądem, w dół rzeki	pod prąd, w górę rzeki
język rosyjski	по течению, вниз по течению	против течения, вверх по течению, выше по течению
język czeski	po proudu, dolni tok, směřující po proudu	proti proudu, protisměr

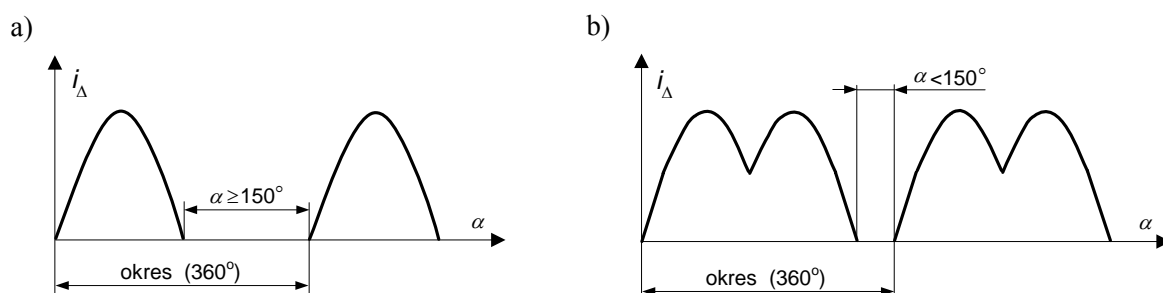
Ostatnia część pytania jest zaskakująca, bo „przewody instalacji wiszące luźno na ścianach i zachlapanie mokrą farbą” w sąsiednich mieszkaniach zapewne nie są pod napięciem i chociażby z tego powodu nie mogą mieć wpływu na wynik pomiaru rzeczywistego prądu różnicowego zadziałania wyłączników w jakimkolwiek miejscu instalacji. To wynika z elementarnych praw elektrotechniki. Gdyby było inaczej, sąsiedzi mogliby sobie płatać złośliwe psikusy uniemożliwiające stosowanie wyłączników różnicowoprądowych.

Odpowiedź na 2. pytanie

Pomiarowiec postępował niesłusznie, okazał się niekompetentny. Historycznie rzecz rozpatrując jako pierwsze, przez około 30 lat, były produkowane i stosowane tylko wyłączniki różnicowoprądowe o wyzwalaniu **typu AC**, chociaż nie były tak nazywane, dopóki nie pojawiły się inne. Tym wyłącznikom o działaniu bezzwłocznym przypisano prąd różnicowy zadziałania¹ równy ich znamionowemu prądowi różnicowemu zadziałania ($I_{\Delta n}$) oraz prąd różnicowy niezadziałania² równy połowie tej wartości ($0,5I_{\Delta n}$). Kiedy pojawiły się wyłączniki krótkozwłoczne, nadal o wyzwalaniu typu AC, przypisano im te same granice dopuszczalnego rozrzutu prądu zadziałania. Było to możliwe, technicznie wykonalne, bo zasada detekcji prądu różnicowego pozostała w nich ta sama. Tę konwencję w odniesieniu do wyłączników AC słusznie utrzymuje się po dziś dzień, aby nie wprowadzać zamieszania.

Po latach pojawiły się wyłączniki o wyzwalaniu **typu A**, zdolne reagować na pojawienie się prądu różnicowego pulsującego stałego, co wymaga innej zasady detekcji prądu różnicowego. Gdyby wymagano od nich wyzwalania tylko przy takim przebiegu prądu różnicowego, wtedy można by im przypisać prąd różnicowy zadziałania równy ich znamionowemu prądowi różnicowemu zadziałania ($I_{\Delta n}$) i utrzymać taki sam jak dla wyłączników AC ciąg wartości $I_{\Delta n}$ (30, 100, 200, 300, 500... mA). Jednakże wyłączniki A to „dwa w jednym”, bo wymaga się od nich wyzwalania:

- przy prądzie różnicowym sinusoidalnym w takich warunkach jak wyłączniki AC i ponadto
- przy prądzie różnicowym pulsującym stałym³.



Rys. 2. Przykładowe przebiegi prądu różnicowego w obwodzie prostownika:

- a) jednospulowego niesterowanego – wyłącznik o wyzwalaniu typu A wykrywa;
- b) dwuspulowego niesterowanego, zasilanego napięciem międzyprzewodowym – wyłącznik o wyzwalaniu typu A nie wykrywa prądu różnicowego.

¹ **Prąd różnicowy zadziałania** (ang. *residual operating current*) – najmniejsza wartość prądu różnicowego, która powoduje zadziałanie wyłącznika różnicowoprądowego w określonych warunkach.

² **Prąd różnicowy niezadziałania** (ang. *residual non-operating current*) – największa wartość prądu różnicowego, która nie powoduje zadziałania wyłącznika różnicowoprądowego w określonych warunkach.

³ **Prąd pulsujący stały** – prąd o przebiegu pulsującym, który w każdym okresie odpowiadającym częstotliwości sieciowej przybiera wartość zero albo wartość nie przekraczającą 0,006 A prądu stałego w jednym pojedynczym przedziale czasu, odpowiadającym kątowi co najmniej 150° .

Nie da się zrobić wyłącznika różnicowoprądowego z jednym przekładnikiem sumującym, który miałby tę samą wartość rzeczywistego prądu różnicowego zadziałania przy obu przebiegach prądu różnicowego (szczegóły patrz www.edwardmusial.info/pliki/rcd_02.pdf). Skoro słusznie nie zmieniono wymagań dla wyzwalania typu AC, to należało przyjąć inne wymagania dla wyzwalania typu A. Są one zestawione w tabelicy 2.

Tabl. 2. Prąd niezadziałania oraz prąd zadziałania wyłączników różnicowoprądowych o wyzwalaniu typu A i typu B przy prądzie różnicowym pulsującym stałym¹

Kąt opóźnienia prądu	Prąd niezadziałania	Prąd zadziałania	
		Wyłączniki $I_{\Delta n} < 30 \text{ mA}$	Wyłączniki $I_{\Delta n} \geq 30 \text{ mA}$
0°	$0,35 I_{\Delta n}$	$2 I_{\Delta n}$	$1,4 I_{\Delta n}$
90°	$0,25 I_{\Delta n}$	$2 I_{\Delta n}$	$1,4 I_{\Delta n}$
135°	$0,11 I_{\Delta n}$	$2 I_{\Delta n}$	$1,4 I_{\Delta n}$

To, że prąd różnicowy zadziałania jest tylko od 40 do 100% większy, niż przy wyzwalaniu AC, udało się uzyskać dzięki odpowiedniej definicji **prądu różnicowego pulsującego stalego** ustalając przerwę praktycznie bezprądową przez niemal pół okresu (rys. 2a); nie wymaga się, aby wyłączniki A reagowały na prąd różnicowy wyprostowany dwupołówkowo. Trzeba też było zmienić wymagania odnośnie do wartości prądu różnicowego niezadziałania.

Te same problemy wystąpiły i podobnie je rozwiązywano, kiedy pojawiły się wyłączniki różnicowoprądowe o wyzwalaniu **typu B**. Wyłączniki B to co najmniej „trzy w jednym”, bo wymaga się od nich wyzwalania:

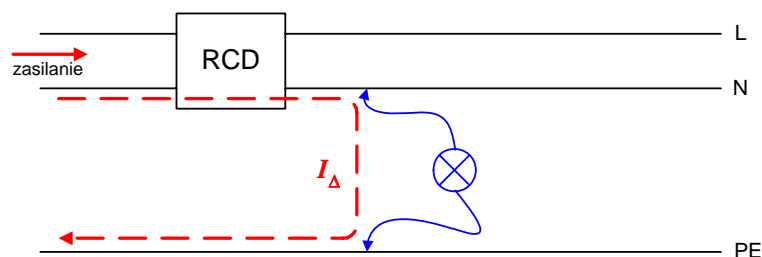
- przy prądzie różnicowym sinusoidalnym w sposób identyczny jak wyłączniki AC,
- przy prądzie różnicowym pulsującym stałym w sposób identyczny jak wyłączniki A (tabl. 2) i ponadto
- przy prądzie różnicowym stałym o pomijalnym tętnieniu i ewentualnie
- przy innych przebiegach prądu różnicowego (np. dużej częstotliwości).

Odpowiedź na 3. pytanie

Elektryk, który tak postępuje, nie rozumie jak działa wyłącznik różnicowoprądowy. Między przewodami neutralnym N a ochronnym PE występuje **napięcie o niewiadomej wartości**, od zera do kilku woltów, a nawet więcej w stanach zakłóceń. Monter przyłącza „kontrolkę żarówkową, która ma **rezystancję o niewiadomej wartości**, wymusza **prąd różnicowy o niewiadomej wartości**, być może dodający się do prądu różnicowego (również o niewiadomej wartości) spowodowanego prądem upływowym obwodu. **Żadnego miarodajnego wniosku z takiego „badania” wyciągnąć nie można** ani wtedy, kiedy wyłącznik otworzy się, ani wtedy, kiedy nie otworzy się.

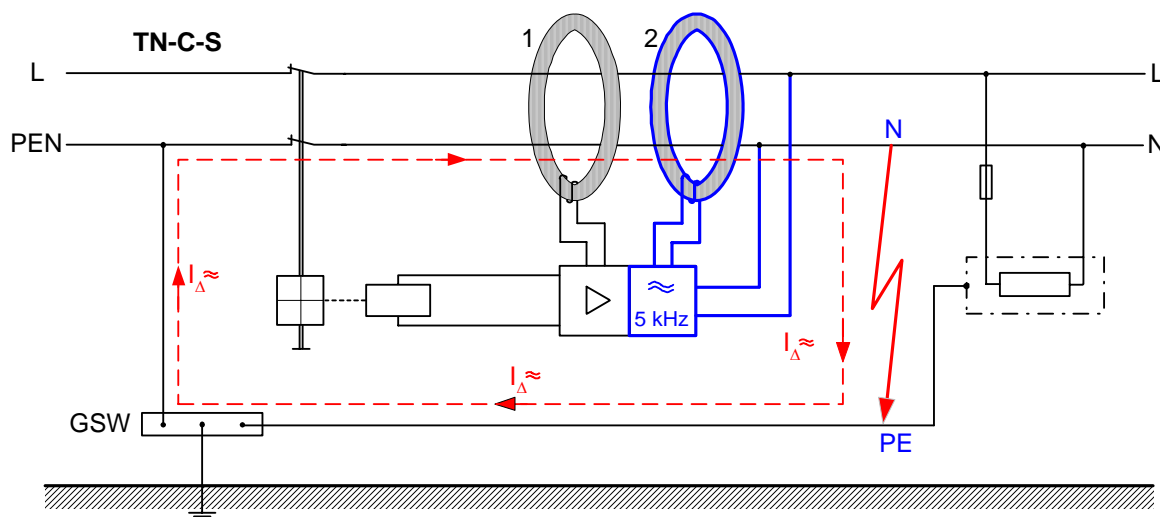
Od standardowych europejskich wyłączników różnicowoprądowych nie wymaga się, aby reagowały na zwarcie przewodów neutralnego N z ochronnym PE, chociaż takie zwarcie może zakłócać działanie wyłącznika zmniejszając wartość prądu różnicowego, a więc odczulając wyłącznik. To jeden z powodów, dla których w 3-fazowych układach TT instaluje się ograniczniki przepięć o układzie połączeń 3+1, a nie o układzie 4+0 (www.edwardmusial.info/pliki/d_ogr_przep.pdf).

¹ Według IEC/TR 60755 Edition 2.0 2008-01 General requirements for residual current operated protective devices.



Rys. 3. Niedorzeczny sposób sprawdzania poprawności działania wyłącznika różnicowoprądowego

Wyzwalania przy zwarciach N-PE w chronionym obwodzie wymaga się od amerykańskich wyłączników GFCI (ang. *ground fault circuit interrupter*), które z tego powodu mają inną budowę. Mają dwa przekładniki prądowe, z których jeden ma za zadanie wykrywać prąd różnicowy, a drugi – wykrywać zwarcie przewodu neutralnego z ziemią. W obwodzie wtórnym przekładników jest rozbudowany układ elektroniczny o zasilaniu sieciowym.



Rys. 4. Zasada działania wyłącznika GFCI przy zwarciu przewodu neutralnego N z ziemią w chronionym obwodzie:
 $I_{\Delta \approx}$ – prąd o wysokiej częstotliwości wymuszany przez generator w obwodzie wtórnym przekładnika 2
 1 – przekładnik do wykrywania prądu różnicowego
 2 – przekładnik średniej częstotliwości do transformacji prądu probierczego (5 kHz)

Do wykrywania zwarcia przewodu neutralnego z ziemią zastosowano następujące rozwiązanie. W obwodzie wtórnym przekładnika prądowego średniej częstotliwości 2 (rys. 4) jest generator do wymuszania prądu probierczego o podwyższonej częstotliwości, np. 5 kHz. W razie zwarcia z ziemią przewodu neutralnego prąd ten jest transformowany poprzez przekładnik 2 na stronę pierwotną i płynie w pętli utworzonej przez miejsce zwarcia, przewody ochronne i/lub wyrównawcze i wraca przewodem neutralnym do miejsca zwarcia. Przekładnik sumujący 1 wykrywa ten prąd, zostaje pobudzony układ detekcji i następuje otwarcie wyłącznika. Dopóki nie ma zwarcia przewodu neutralnego z ziemią, to prąd probierczy nie płynie, bo po stronie pierwotnej przekładnika wspomniana pętla jest otwarta.

Przy sprawdzaniu stanu technicznego takich wyłączników kontroluje się między innymi, czy reagują poprawnie na zwarcie przewodów N i PE w chronionym obwodzie.

Edward Musiał