

Badanie działania zabezpieczeń różnicowoprądowych typu RDC-DD przy wybranych przebiegach prądu różnicowego

Testing the operation of the RDC-DD protection under selected residual current waveforms

Streszczenie. W instalacjach niskiego napięcia przeznaczonych do ładowania pojazdów elektrycznych obowiązkowe jest stosowanie zabezpieczeń różnicowoprądowych. W instalacjach tych istnieje jednak ryzyko pojawienia się w prądzie ziemnozwarciowym stosunkowo dużej wartości składowej stałej, która negatywnie wpływa na próg zadziałania powszechnie instalowanych wyłączników różnicowoprądowych. Konieczny jest więc dobór zabezpieczenia zdolnego do wykrywania tej składowej, np. zabezpieczenia różnicowoprądowego typu RDC-DD. W artykule przedstawiono wyniki badań działania takich zabezpieczeń przy prądzie różnicowym sinusoidalnym o częstotliwości 50 Hz oraz przy prądzie różnicowym jednokierunkowym.

Abstract. In low-voltage installations intended for charging of electric vehicles, the use of residual current devices is mandatory. However, in such installations there is a risk of occurrence of an earth fault current containing a relatively high value of the DC component. Therefore, it is necessary to select protection device capable of detecting this component, e.g. a residual direct current detecting device (RDC-DD). The paper presents the results of tests of the operation of example RDC-DDs under a sinusoidal current having 50 Hz and under a unidirectional current.

Słowa kluczowe: ładowanie pojazdów elektrycznych, ochrona przeciwporażeniowa, zabezpieczenia różnicowoprądowe, RDC-DD.

Keywords: charging of electric vehicles, protection against electric shock, residual current devices, RDC-DD.

Wstęp

W nowoczesnych instalacjach elektrycznych niskiego napięcia zabezpieczenia (wyłączniki) różnicowoprądowe są powszechnie stosowanym elementem systemu ochrony przeciwporażeniowej. Dobór zabezpieczeń różnicowoprądowych jest przeprowadzany m.in. ze względu na wymagany znamionowy prąd ciągły, znamionowy prąd różnicowy zadziałania, liczbę biegunów, opóźnienie działania oraz typ wyzwalania związany ze zdolnością do wykrywania określonego kształtu przebiegu prądu różnicowego [1]. W ramach tego ostatniego kryterium wyróżnia się następujące zabezpieczenia różnicowoprądowe [2-4]:

- typu AC, wykrywające prądy sinusoidalne (50/60 Hz),
- typu A, wykrywające prądy takie jak wyłączniki typu AC, a ponadto prądy jednokierunkowe o dużym tętnieniu, przy czym składowa stała wygładzona nie powinna przekraczać 6 mA,
- typu F, wykrywające prądy takie jak wyłączniki typu A, a ponadto prądy jednokierunkowe o dużym tętnieniu ze składową stałą wygładzoną do 10 mA; zabezpieczenia te wykrywają też prądy zawierające wyższe harmoniczne,
- typu B, wykrywające prądy sinusoidalne o częstotliwości do 1000 Hz, prądy jednokierunkowe o dużym tętnieniu, prąd stały wygładzony oraz prądy zawierające wyższe harmoniczne,
- typu B+, wykrywające prądy takie jak wyłączniki typu B, a ponadto prądy sinusoidalne o częstotliwości do 20000 Hz.

Przy doborze zabezpieczenia różnicowoprądowego ze względu na to kryterium należy przeanalizować spodziewaną częstotliwość prądu różnicowego [5-7], zawartość wyższych harmonicznych [8-10] oraz udział składowej stałej w tym prądzie [11, 12]. Dobór niewłaściwego zabezpieczenia może w skrajnych przypadkach skutkować jego brakiem reakcji nawet na bardzo duży prąd różnicowy i stwarzać poważne ryzyko porażenia prądem.

W niektórych obwodach, w szczególności instalacji o zwiększonym zagrożeniu porażeniem, stosowanie zabezpieczeń różnicowoprądowych jest obowiązkowe [13-16]. Do instalacji, w których stosowanie zabezpieczeń jest

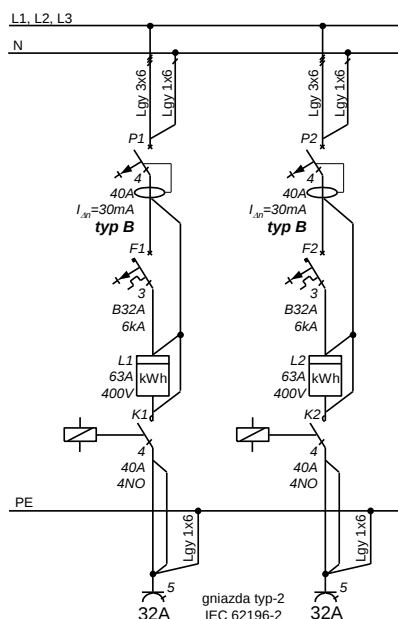
obowiązkowe zaliczają się też instalacje przeznaczone do ładowania pojazdów elektrycznych. Wynika to zarówno z wymagań zawartych w rozporządzeniu [17], jak i w normie [18]. Powinny to być zabezpieczenia zdolne do wykrywania prądu ziemnozwarciowego/różnicowego zawierającego składową stałą. Jako jedno z dopuszczalnych zabezpieczeń różnicowoprądowych norma [18] wymienia RDC-DD (ang. *residual direct current detecting device*), które może współpracować z wyłącznikiem różnicowoprądowym typu A lub typu F, bądź może być samodzielnym zabezpieczeniem. Zabezpieczenie takie powinno wykrywać m.in. prądy różnicowe jednokierunkowe o niewielkim tętnieniu. Własności tego stosunkowo nowego typu zabezpieczeń są jeszcze mało znane i w niniejszym artykule przedstawiono wybrane wymagania normy [19] oraz zamieszczono wyniki badań laboratoryjnych działania takich zabezpieczeń. Wyniki te są rozszerzeniem/uzupełnieniem danych zawartych w publikacji [20].

Wymagania norm w zakresie działania i stosowania zabezpieczeń różnicowoprądowych RDC-DD

Szczegółowe wymagania w zakresie stosowania zabezpieczeń różnicowoprądowych w instalacjach ładowania pojazdów elektrycznych są zawarte w normie PN-HD 60364-7-722 [18]. Według jej postanowień, jeżeli ładowanie odbywa się z wykorzystaniem złączy zgodnych z normą IEC 62196 [21], to należy instalować:

- wyłączniki różnicowoprądowe typu B (B+) lub
- wyłączniki różnicowoprądowe typu A oraz urządzenie do detekcji prądu różnicowego stałego (RDC-DD zgodne z normą IEC 62955) lub
- wyłączniki różnicowoprądowe typu F oraz urządzenie do detekcji prądu różnicowego stałego (RDC-DD zgodne z normą IEC 62955).

Obecnie dość powszechne w obwodach stacji ładowania jest instalowanie wyłączników różnicowoprądowych typu B. Rysunek 1 przedstawia fragment schematu elektrycznego wdrożonej instalacji ładowania pojazdów elektrycznych, natomiast na rysunku 2 zamieszczono fotografię fragmentu wnętrza stacji ładowania. Jak widać zastosowano wyłącznik różnicowoprądowy o $I_{\Delta n} = 30$ mA typu B.

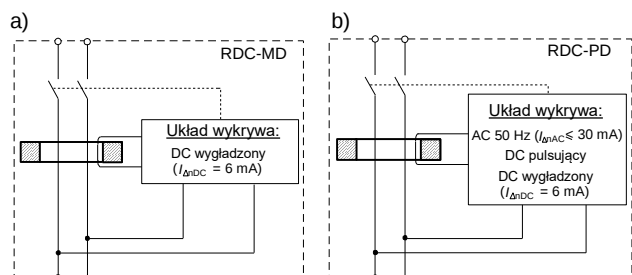


Rys. 1. Fragment schematu instalacji stacji ładowania pojazdów elektrycznych zawierający obwody z wyłącznikami różnicowoprądowymi typu B



Rys. 2. Wyłącznik różnicowoprądowy o $I_{\Delta n} = 30$ mA typu B zainstalowany w stacji ładowania pojazdów elektrycznych (fotografia udostępniona przez firmę GreenWay Polska Sp. z o.o.)

Alternatywą dla tego rozwiązania jest zainstalowanie zabezpieczenia różnicowoprądowego typu RDC-DD. Zabezpieczenie to może być osobnym modulem wykrywającym składową stałą prądu o wartość równej lub większej niż 6 mA (RDC-MD – rys. 3a) współpracującym z wyłącznikiem różnicowoprądowym typu A (także typu F). Może też stanowić zintegrowane zabezpieczenie różnicowoprądowe o znamionowym prądzie różnicowym zadziałania AC równym $I_{\Delta nAC} = 30$ mA i znamionowym prądzie różnicowym zadziałania DC równym $I_{\Delta nDC} = 6$ mA. Ta odmiana zabezpieczenia jest oznaczana RDC-PD (rys. 3b).

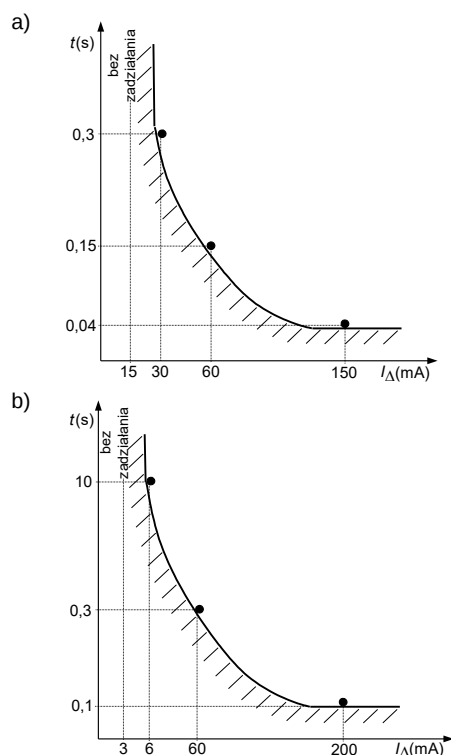


Rys. 3. Ogólna struktura urządzenia: a) RDC-MD (ang. *residual direct current monitoring device*), b) RDC-PD (ang. *residual direct current protective device*). Opracowanie własne na podstawie [19]

Jeżeli RDC-DD jest wykonane jako zintegrowane urządzenie zabezpieczające, czyli RDC-PD, to jego charakterystyka czasowo-prądowa powinna:

- przy prądzie AC spełniać wymagania jak dla wyłącznika różnicowoprądowego (zwykle o $I_{\Delta nAC} = 30$ mA),
- przy prądzie DC spełniać wymagania normy IEC 62955 [19], przy czym $I_{\Delta nDC} = 6$ mA.

Charakterystyki te są przedstawione na rysunku 4. Zarówno przy prądzie AC, jak i przy prądzie DC próg zadziałania powinien mieścić się przedziale $(0,5-1,0)I_{\Delta n}$.

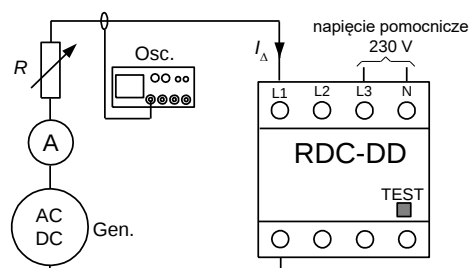


Rys. 4. Charakterystyki czasowo-prądowe zintegrowanego urządzenia RDC-PD ($I_{\Delta nAC} = 30$ mA, $I_{\Delta nDC} = 6$ mA) określone przez normy PN-EN 61008-1 [3] i IEC 62955 [19]: a) dla prądu AC, b) dla prądu DC. Opracowanie własne na podstawie [3, 19]

Wyniki badań

Przeprowadzono badania laboratoryjne dwóch zabezpieczeń w wykonaniu zintegrowanym (RDC-PD). W układzie jak na rysunku 5 badano:

- 1) próg zadziałania zabezpieczeń przy wolno narastającym prądzie AC 50 Hz oraz przy wolno narastającym prądzie DC,
- 2) reakcję zabezpieczeń na nagle przyłożony prąd o znormalizowanej wartości (AC 30, 60 i 150 mA; DC 6, 60 i 200 mA); badanie to jest weryfikacją charakterystyki czasowo-prądowej wymaganej przez normy (rys. 4).



Rys. 5. Schemat układu do badania działania zabezpieczeń RDC-DD (RDC-PD). Osc. – oscyloskop, Gen. – generator przebiegów AC i DC, R – rezystor o regulowanej rezystancji, I_{Δ} – wymuszany prąd różnicowy, A – amperomierz

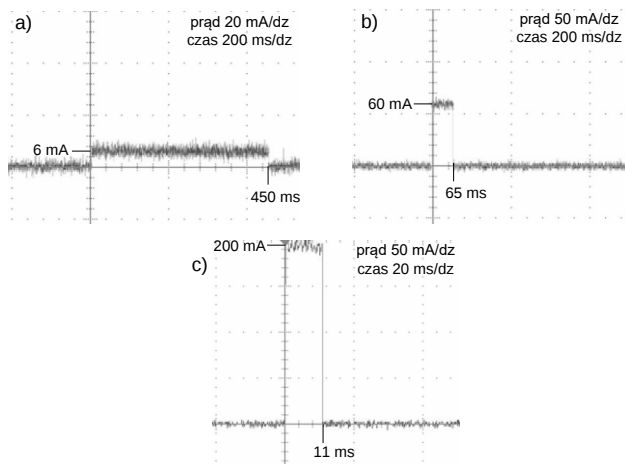
Należy zaznaczyć że przy przebiegach DC zabezpieczenia RDC-DD do prawidłowego działania wymagają napięcia pomocniczego (podobnie jak wyłączniki różnicowoprądowe typu B). Wyniki badań oraz wartości wymagane przez normy zawarto w tabeli 1.

Tabela 1. Wyniki badań działania dwóch zabezpieczeń RDC-DD (RDC-PD). Dane znamionowe: $I_{\Delta nAC} = 30 \text{ mA}$, $I_{\Delta nDC} = 6 \text{ mA}$; zabezpieczenie 1: $I_n = 40 \text{ A}$, zabezpieczenie 2: $I_n = 63 \text{ A}$

Wymuszany prąd	Wartość zmierzona dla		Dopuszczalny przedział wg norm [3, 19]
	$I_n = 40 \text{ A}$	$I_n = 63 \text{ A}$	
Badanie prądem AC 50 Hz			
wolno narastający	prąd zadziałania		prąd zadziałania 15–30 mA
	18 mA	18 mA	
nagle przyłożony (faza początkowa 0°)			czas zadziałania
30 mA	26 ms	36 ms	≤ 300 ms
60 mA	24 ms	16 ms	≤ 150 ms
150 mA	8 ms	14 ms	≤ 40-ms
Badanie prądem DC			
wolno narastający	prąd zadziałania		prąd zadziałania 3–6 mA
	4,4 mA	4,6 mA	
nagle przyłożony (biegunowość „+“)			czas zadziałania
6 mA	450 ms	450 ms	≤ 10 s
60 mA	65 ms	80 ms	≤ 300 ms
200 mA	11 ms	12 ms	< 100-ms

Jak wynika z tabeli 1, wszystkie badane parametry mieszczą się w granicach określonych przez normy [3, 19]. Szczególnie istotna jest informacja o wykrywaniu prądu stałego. Oba badane zabezpieczenia reagują na prąd stały wygładzony o wartości około 4,5 mA (próg zadziałania przy prądzie wolno narastającym). Nie ma więc ryzyka, które występuje w przypadku wyłączników różnicowoprądowych typu AC i A, że składowa stała pogorszy czułość zabezpieczenia.

Aby zobrazować działanie zabezpieczeń RDC-DD przy prądzie stałym nagle przyłożonym, na rysunku 6 zamieszczono oscylogramy prądów przy takiej próbie. Zgodnie z normą [19], bada się reakcję zabezpieczenia na prądy DC o wartości 6, 60 i 200 mA. Dla zabezpieczenia o $I_n = 40 \text{ A}$ (rys. 6) czasy zadziałania wynoszą odpowiednio 450, 65 i 11 ms, zatem spełniają one wymagania normy [19].



Rys. 6. Oscylogramy zarejestrowane podczas badania czasu zadziałania zabezpieczenia RDC-DD (RDC-PD) przy nagle przyłożonym prądzie stałym o znormalizowanej wartości: a) 6 mA (czas 450 ms), b) 60 mA (czas 65 ms), c) 200 mA (czas 11 ms). Dane znamionowe zabezpieczenia: $I_n = 40 \text{ A}$, $I_{\Delta nAC} = 30 \text{ mA}$, $I_{\Delta nDC} = 6 \text{ mA}$

Wnioski

Dobór zabezpieczeń różnicowoprądowych do obwodów, w których prąd ziemnozwarciowy może zawierać składową stałą o znacznej wartości wymaga dużej uwagi, m.in. szczegółowego rozpoznania własności dostępnych na rynku zabezpieczeń. Do obwodów takich nadają się dość powszechnie znane wyłączniki różnicowoprądowe typu B. Ze względu na systemy ładowania pojazdów elektrycznych, stosunkowo niedawno pojawiły się też inne zabezpieczenia różnicowoprądowe – RDC-DD. Badania tych zabezpieczeń wykazały ich dobrą czułość na prąd różnicowy stały. Zabezpieczeń tych nie należy jednak traktować jako równoważnych wyłącznikom różnicowoprądowym typu B.

Autorzy: prof. dr hab. inż. Stanisław Czapp, Politechnika Gdańska, Wydział Elektrotechniki i Automatyki, ul. G. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk, E-mail: stanislaw.czapp@pg.edu.pl
dr inż. Kornel Borowski, Politechnika Gdańska, Wydział Elektrotechniki i Automatyki, ul. G. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk, E-mail: kornel.borowski@pg.edu.pl

LITERATURA

- [1] Czapp S., Musiał E., Wyłączniki ochronne różnicowoprądowe – Część 2. Monografie INPE, z. 59. Wyd.: Stowarzyszenie Elektryków Polskich – COSiW, Zakł. Wyd. INPE w Belchatowie, 2017, ISBN 978-83-945411-4-9
- [2] Czapp S., Ochrona przeciwporażeniowa w sieciach i instalacjach niskiego napięcia. PWN, Warszawa 2023
- [3] PN-EN 61008-1:2013-05 Wyłączniki różnicowoprądowe bez wbudowanego zabezpieczenia nadprądowego do użytku domowego i podobnego (RCCB) – Część 1: Postanowienia ogólne
- [4] PN-EN 62423:2013-06 Wyłączniki różnicowoprądowe typu F i typu B z wbudowanym zabezpieczeniem nadprądowym i bez wbudowanego zabezpieczenia nadprądowego do użytku domowego i podobnego
- [5] Horgos M., Erdei Z., Barz C., Birsan I., Ilia M., Contributions to testing residual current devices at different frequency values, *6th Int. Conf. on Modern Power Sys. (MPS)*, Cluj-Napoca, Romania, 18-21 May 2015
- [6] Slangen T.M.H., Lustenhouwer B.R.F., Čuk V., Cobben J.F.G., The effects of high-frequency residual currents on the operation of residual current devices, *19th Int. Conf. on Renewable Energies and Power Quality (ICREPPQ'21)*, Almeria, Spain, 28-30 July 2021
- [7] Czapp S., Tariq H., Behavior of residual current devices at frequencies up to 50 kHz, *Energies*, 14 (2021), 1785, <https://doi.org/10.3390/en14061785>
- [8] Lee T.M., Chan T.W., The effects of harmonics on the operational characteristics of residual current circuit breakers, *Int. Conf. on Energy Management and Power Deliv.*, Singapore, 21-23 Nov. 1995
- [9] Espín-Delgado Á., Sutaria J., Rönnberg S., Nakhodchi N., Bollen M., Impact of supraharmonics and quasi-dc on the operation of residual current devices, *The 26th International Conference and Exhibition on Electricity Distribution CIRED 2021*, Geneva, Switzerland, 2021
- [10] Czapp S., Testing sensitivity of A-type residual current devices to earth fault currents with harmonics, *Sensors*, 20 (2020), 2044, <https://doi.org/10.3390/s20072044>
- [11] Davids S., Grünebast G., Residual Currents in Photovoltaic Installations, Version 1.1; Doecke Schaltgeräte GmbH: Norden, Germany, 2011
- [12] Czapp S., Tariq H., Cieslik S., Behavior of residual current devices at earth fault currents with DC component, *Sensors*, 22 (2022), 8382, <https://doi.org/10.3390/s22218382>
- [13] PN-HD 60364-4-41:2017-09 Instalacje elektryczne niskiego napięcia – Część 4-41: Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa – Ochrona przed porażeniem elektrycznym

- [14] PN-HD 60364-7-701:2010 Instalacje elektryczne niskiego napięcia – Część 7-701: Wymagania dotyczące specjalnych instalacji lub lokalizacji – Pomieszczenia wyposażone w wannę lub prysznic
- [15] PN-HD 60364-7-704:2018-08 Instalacje elektryczne niskiego napięcia – Część 7-704: Wymagania dotyczące specjalnych instalacji lub lokalizacji – Instalacje na terenie budowy i rozbiórki
- [16] PN-HD 60364-7-705:2007 Instalacje elektryczne niskiego napięcia – Część 7-705: Wymagania dotyczące specjalnych instalacji lub lokalizacji – Gospodarstwa rolnicze i ogrodnictwo
- [17] Rozporządzenie Ministra Energii z dnia 26 czerwca 2019 r. w sprawie wymagań technicznych dla stacji ładowania i punktów ładowania stanowiących element infrastruktury ładowania drogowego transportu publicznego (Dz.U. z 2019, poz. 1316)
- [18] PN-HD 60364-7-722:2019-01 Instalacje elektryczne niskiego napięcia – Część 7-722: Wymagania dotyczące specjalnych instalacji lub lokalizacji – Zasilanie pojazdów elektrycznych
- [19] IEC 62955:2018 Residual direct current detecting device (RDC-DD) to be used for mode 3 charging of electric vehicles
- [20] Czapp S., Requirements for Residual Current Devices Intended for Electric Vehicle Charging Systems, *Automatyka Elektryka Zakłócenia*, 14 (2023), 10-20
- [21] PN-EN 62196 Wtyczki, gniazda wtyczkowe, złącza pojazdowe i wtyki pojazdowe – Przewodowe ładowanie pojazdów elektrycznych (norma wieloarkuszowa)