

## WYMAGANIA STAWIANE URZĄDZENIOM DO DETEKCCJI ZWARĆ ŁUKOWYCH W INSTALACJACH NISKIEGO NAPIĘCIA

Stanisław CZAPP

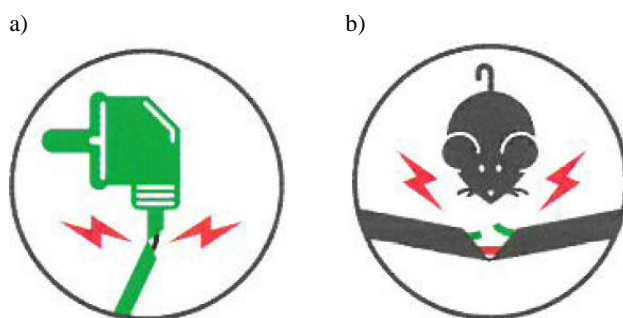
Politechnika Gdańska, Wydział Elektrotechniki i Automatyki  
tel.: 58 347-13-98 e-mail: stanislaw.czapp@pg.edu.pl

**Streszczenie:** W artykule zwrócono uwagę na zagrożenie pożarem pochodzące od iskrzenia/zwarcia łukowego w instalacji niskiego napięcia. Przedstawiono podstawowe wymagania normy PN-EN 62606 obejmującej swym zakresem urządzenia do detekcji zwarć łukowych (AFDD). Urządzenia te zaczynają pojawiać się w polskich instalacjach elektrycznych, a w niektórych krajach są już obowiązkowym wyposażeniem wybranych obwodów. Omówiono również charakterystyki działania tych urządzeń oraz zalecenia odnośnie do ich stosowania.

**Słowa kluczowe:** AFDD, instalacje elektryczne, ochrona przeciwpożarowa.

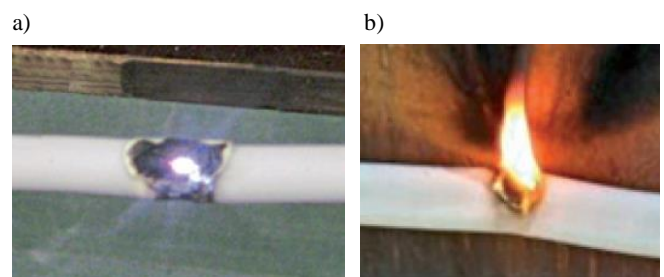
### 1. WSTĘP

Obecnie w instalacjach elektrycznych niskiego napięcia powszechnie stosuje się zabezpieczenia nadprądowe (wyłączniki, bezpieczniki), zabezpieczenia różnicowoprądowe oraz ograniczniki przepięć. Zabezpieczenia te jednak mogą być mało skuteczne przy niektórych uszkodzeniach przewodów i odbiorników elektrycznych, powstających np. w wyniku działania gryzoni, prac montażowo-budowlanych, niewłaściwej eksploatacji (zmiażdżenie lub nadmierne zgięcie przewodu), a zagrażających pożarem (rys. 1).



Rys. 1. Uszkodzenie przewodów instalacji elektrycznej:  
a) w wyniku ich zmiażdżenia, b) przez gryzonia [1]

W uszkodzonym przewodzie (przewodach) może dojść do iskrzenia/zwarcia łukowego, co może być przyczyną pożaru, jeżeli w pobliżu znajdują się materiały łatwopalne. Na rysunku 2 przedstawiono fotografie obrazujące uszkodzenia izolacji powstałe w wyniku iskrzenia wewnątrz przewodu [2].

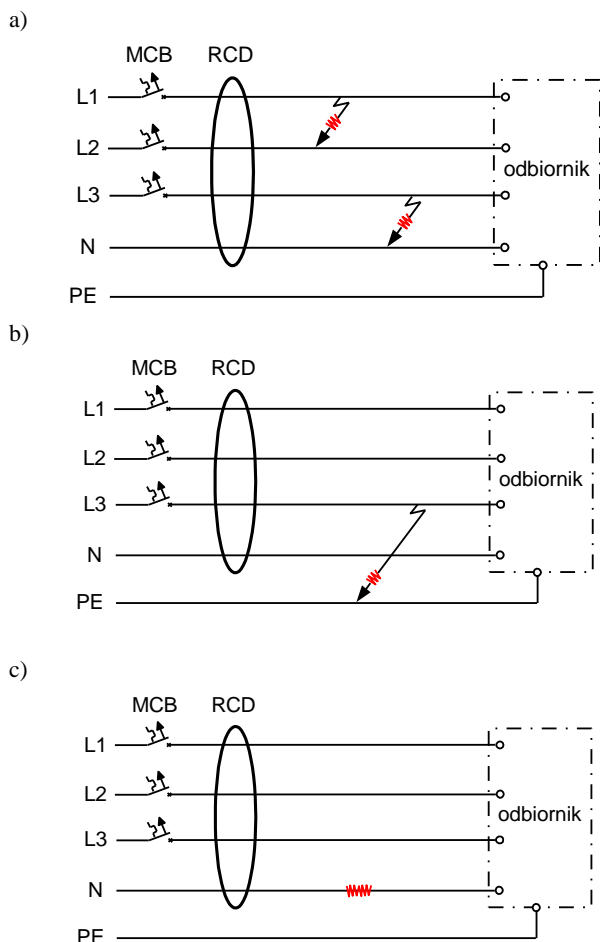


Rys. 2. Skutki iskrzenia wewnątrz przewodu:  
a) uszkodzenie cieplne izolacji, b) zapłon izolacji [2]

Jeżeli w obwodzie zdarzy się zwarcie oporowe między przewodami fazowymi lub fazowym a neutralnym, z udziałem łuku elektrycznego (rys. 3a), to przy odpowiednio dużej wartości prądu można liczyć na zadziałanie zabezpieczenia nadprądowego (MCB). W przypadku zwarć między przewodem fazowym a przewodem ochronnym może zadziałać zabezpieczenie różnicowoprądowe (RCD) i/lub zabezpieczenie nadprądowe (MCB) – rys. 3b. Na zadziałanie zabezpieczenia RCD nie ma co liczyć w przypadku iskrzenia/łuku szeregowego (rys. 3c), bo nie ma różnicy prądów. W ograniczonym zakresie (tylko przy odpowiednio dużym prądzie) może zadziałać MCB. Przy łuku szeregowym prąd jest stosunkowo mały, ponieważ jest jednocześnie prądem obciążenia odbiornika.

Jeżeli konieczna jest ochrona przed skutkami iskrzenia, w szczególności iskrzenia szeregowego, to należy rozważyć zastosowanie urządzeń do detekcji zwarć łukowych AFDD (ang. *arc fault detection device*). Urządzenia te od wielu lat są szeroko stosowane w USA [3], a od niedawna wymaga się ich stosowania w Niemczech [4].

W dalszej części artykułu przedstawiono podstawowe wymagania stawiane tym urządzeniom oraz zasady ich stosowania.



Rys. 3. Iskrzenie: a) równoległe przy zwarciu oporowym L1-L2 (L3-N), b) równoległe doziemne przy zwarciu oporowym L3-PE, c) szeregowe przy uszkodzeniu żyły N; MCB – wyłącznik nadprądowy (ang. *miniature circuit-breaker*), RCD – wyłącznik różnicowoprądowy (ang. *residual current device*)

## 2. WYMAGANIA NORMY PN-EN 62606:2014-05

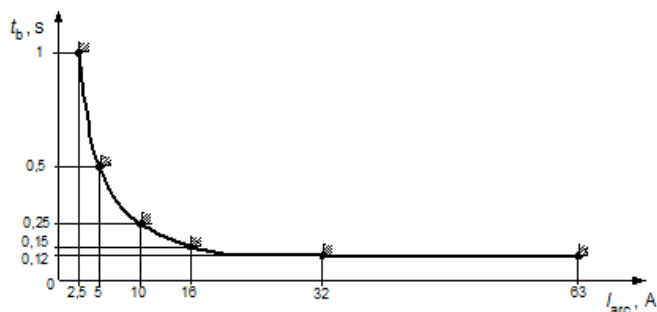
Urządzenia AFDD powinny być produkowane z uwzględnieniem wymagań normy PN-EN 62606:2014-05 *Wymagania ogólne dla urządzeń do detekcji zwarć łukowych* [5]. Norma ta wyróżnia trzy rodzaje łuku (iskrzenia) z punktu widzenia zastosowania urządzeń AFDD:

- łuk równoległy – występuje wtedy, gdy prąd łuku płynie między przewodami czynnymi (L-L, L-N)<sup>1</sup>,
- łuk doziemny – występuje wtedy, gdy prąd łuku płynie między przewodem czynnym a ziemią; z punktu widzenia właściwości łuku, w szczególności wartości prądu, ten rodzaj łuku też jest łukiem równoległym,
- łuk szeregowy – występuje wtedy, gdy prąd łuku jest równocześnie prądem obciążenia odbiornika.

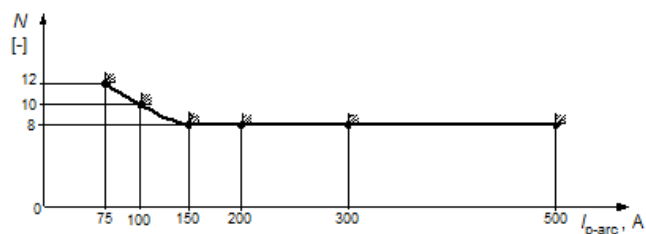
Powstanie łuku/iskrzenia w obwodzie elektrycznym nie zawsze jest związane z uszkodzeniem. Łuk może pojawiać się podczas załączenia (wyłączenia) urządzenia, a także jest właściwością niektórych silników. Aby nie dochodziło do zbędnych zadziałań AFDD, norma [5] określa parametry łuku probierczego, na który zabezpieczenia AFDD powinny reagować, a także przypadki występowania łuku (załączanie/praca urządzeń powszechnego użytku), na które AFDD reagować nie powinny.

Wymagania odnośnie do reakcji na uszkodzenia w obwodzie zależą od tego, czy łuk jest małoprądowy (do 63 A), czy wielkoprądowy (powyżej 63 A) [5]. W pierwszym przypadku określa się największy dopuszczalny czas działania  $t_b$  w zależności od wartości prądu łuku  $I_{arc}$  (rys. 4). Przy prądzie o wartości 2,5 A urządzenie AFDD powinno zadziałać w czasie nie dłuższym niż 1 s, natomiast przy 63 A nie powinno to być więcej niż 0,12 s. W przypadku łuku wielkoprądowego określa się największą dopuszczalną liczbę  $N$  cykli półfalowych prądu o częstotliwości sieciowej w funkcji wartości spodziewanego prądu łuku  $I_{p-arc}$  (rys. 5). Powyżej tej liczby AFDD powinno zadziałać. I tak, w przypadku prądu o wartości 75 A liczba ta wynosi 12, a dla prądu powyżej 150 A jest to 8.

Łuk małoprądowy może wystąpić przy przerwaniu żyły przewodu (iskrzenie/łuk szeregowy) oraz np. przy oporowych zwarciach doziemnych. Łuk wielkoprądowy występuje przy zwarciach doziemnych w układzie TN lub między przewodami czynnymi.



Rys. 4. Wymagana charakterystyka działania AFDD przy występowaniu łuku małoprądowego (do 63 A) [5];  $t_b$  – największy dopuszczalny czas działania AFDD,  $I_{arc}$  – prąd łuku

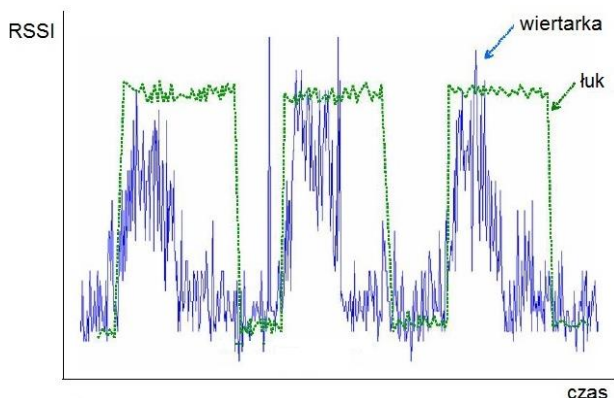


Rys. 5. Wymagana charakterystyka działania AFDD przy występowaniu łuku wielkoprądowego (powyżej 63 A) [5];  $N$  – największa dopuszczalna liczba cykli półfalowych prądu o częstotliwości sieciowej (powyżej tej liczby AFDD powinno zadziałać),  $I_{p-arc}$  – spodziewany prąd łuku

Urządzenia do detekcji zwarć łukowych nie powinny reagować na łuk, który pojawia się podczas normalnej pracy urządzeń elektrycznych. Łuk ten może pojawiać się przy załączaniu urządzeń oświetleniowych, elektronicznych oraz towarzyszyć pracy silnika narzędzia ręcznego, np. wiertarki. Prawidłowe odróżnienie łuku zakłóceniewego od łuku przy braku zakłócenia nie jest zadaniem łatwym i wymaga zastosowania dość skomplikowanego układu detekcji i identyfikacji parametrów łuku. Kryterium decydującym o zadziałaniu zabezpieczenia nie może być wyłącznie wartość skuteczna ani amplituda prądu, ponieważ przy łuku szeregowym wartości te są bardzo małe, mogą być wyraźnie mniejsze niż prąd obciążenia w nieuszkodzonym obwodzie, a zagrożenie pożarowe występuje.

<sup>1</sup> Zakres normy PN-EN 62606:2014-05 nie obejmuje zabezpieczeń AFDD 3- i 4-biegowych.

Układ detekcji i identyfikacji łuku zawarty w urządzeniu AFDD wykorzystuje w szczególności wskaźnik RSSI (ang. *received signal strength indicator*), który jest istotny w telekomunikacji i utożsamiany z mocą odbieranego sygnału radiowego. Porównanie takiego sygnału pochodzącego od składowych wysokich częstotliwości prądu łuku/iskrzenia z analogicznym sygnałem pochodzącym od prądu obciążenia urządzeń domowego użytku pozwala na odróżnienie uszkodzenia w obwodzie od stanu normalnego. Na rysunku 6 przedstawiono porównanie wskaźnika RSSI dla łuku i prądu pobieranego przez wiertarkę [6].



Rys. 6. Wskaźnik RSSI łuku elektrycznego i prądu pobieranego przez wiertarkę [6]

Aby zabezpieczenia AFDD do obwodów o napięciu nominalnym 230 V nie działały zbędnie przy łuku powstającym podczas normalnej pracy urządzeń elektrycznych (brak uszkodzenia w obwodzie), zgodnie z postanowieniami normy [5] nie powinny wyzwać podczas następujących testów:

- załączanie i praca odkurzacza o prądzie znamionowym z zakresu (5÷7) A,
- załączanie zasilacza impulsowego o prądzie obciążenia co najmniej 2,5 A; zasilacz ten powinien wymuszać prąd o THD  $\geq 100\%$  oraz zawartości wyższych harmonicznych co najmniej: 75% trzeciej harmonicznej, 50% piątej harmonicznej, 25% siódmej harmonicznej,
- załączanie i praca silnika (napędzającego sprężarkę) o mocy 2,2 kW z kondensatorem rozruchowym,
- załączanie tyrystorowego regulatora strumienia świetlnego (ściemniacza) lamp żarowych obciążonego mocą 600 W; regulator ten powinien być załączony przy następujących kątach opóźnienia: 0°, 60°, 90°, 120°, oraz przy najmniejszym kącie, przy którym jeszcze następuje zaświecenie lampy,
- załączanie i jednoczesna praca: dwóch świetlówek o mocy 40 W każda i obciążenia rezystancyjnego o prądzie 5 A,
- załączanie i jednoczesna praca: obciążenia rezystancyjnego o prądzie 5 A oraz zasilanych z transformatora elektronicznego żarówek halogenowych (12 V) o łącznej mocy co najmniej 300 W,
- załączanie i praca narzędzia ręcznego (np. wiertarki) o mocy znamionowej co najmniej 600 W.

W trakcie testów należy wykonać 5 załączeń i 5 wyłączeń powyższych obciążeń testowych, a prąd obciążenia powinien płynąć przez co najmniej 5 s.

Urządzenia do detekcji zwarć łukowych mogą być wykonane jako odrębne aparaty lub mogą być zintegrowane z wyłącznikiem różnicowoprądowym i/lub wyłącznikiem

naprądowym. Norma [5] podaje wiele wartości wymaganych lub zalecanych, z których najważniejsze z punktu widzenia doboru AFDD to:

#### Napięcie znamionowe $U_n$

Zalecane wartości to 230 V oraz 120 V (USA).

#### Prąd znamionowy ciągły $I_n$

Zalecane wartości to 6 A – 8 A – 10 A – 13 A – 16 A – 20 A – 25 A – 32 A – 40 A – 50 A – 63 A.

#### Częstotliwość znamionowa $f$

Zalecane wartości to 50 Hz i 60 Hz; jeżeli urządzenie jest przeznaczone do innej częstotliwości, należy oznaczyć to na nim oraz wykonać odpowiednie testy przy tej częstotliwości.

#### Zdolność załączania i wyłączania prądu $I_m$ ,

#### Zdolność załączania i wyłączania prądu przez jeden biegun $I_{m1}$

Najmniejsza wymagana wartość obu prądów ( $I_m$  oraz  $I_{m1}$ ) to  $10I_n$ , ale nie mniej niż 500 A. Podobne wymagania stawia się wyłącznikom różnicowoprądowym bez wbudowanego zabezpieczenia nadprądowego [7, 8]. Zatem urządzeniu AFDD powinno towarzyszyć zabezpieczenie nadprądowe.

#### Prąd zwarciovy umowny $I_{nc}$ ,

#### Prąd zwarciovy umowny jednego bieguna $I_{nc1}$

Znormalizowane wartości tych prądów (prądów, które AFDD jest w stanie przetrzymać pod warunkiem zabezpieczenia przez odpowiednie zabezpieczenie nadprądowe) są następujące: 3 kA, 4,5 kA, 6 kA, 10 kA, 20 kA i 25 kA.

### 3. ZALECENIA STOSOWANIA AFDD

Zalecenia odnośnie do stosowania ochrony przed skutkami iskrzenia/zwarć łukowych w instalacjach niskiego napięcia są zawarte w normie PN-HD 60364-4-42:2011/A1:2015-01 *Instalacje elektryczne niskiego napięcia – Część 4-42: Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa – Ochrona przed skutkami oddziaływania cieplnego* [9]. Zgodnie z tą normą ochronę taką zaleca się stosować:

- w sypialniach,
- w miejscach o zwiększonym ryzyku pożaru ze względu na rodzaj produkcji lub składowanych materiałów – do miejsc tych należą m.in. stodoły, stolarnie, magazyny materiałów łatwopalnych,
- w obiektach wykonanych z materiałów łatwopalnych (w szczególności z drewna),
- w miejscach, w których może łatwo rozprzestrzenić się ogień (może powstać efekt kominowy), np. w budynkach wysokościowych,
- w obiektach zawierających dobra materialne o znacznej wartości.

Stosowanie urządzeń do detekcji zwarć łukowych jest od dawna wymagane w USA. Urządzenia te są tam nazywane AFCI (ang. *arc fault circuit interrupter*). Zgodnie z postanowieniami National Electrical Code [3], urządzenia AFCI należy stosować m.in. do zabezpieczania obwodów gniazd jednofazowych w sypialniach, pokojach dziennych, pokojach wypoczynkowych, salonach, korytarzach, bibliotekach i podobnych.

W USA urządzenia te są również wymagane w instalacjach fotowoltaicznych o napięciu 80 V lub wyższym, zamontowanych lub usytuowanych na budynkach [10]. Powinny być przystosowane do obwodów prądu stałego.

W roku 2016 wymagania stosowania AFDD wprowadzono w Niemczech [4]. Należy je instalować w obwodach o prądzie obciążenia nie większym niż 16 A zasilających m.in. urządzenia w sypialniach domów mieszkalnych, przedszkoli, osób starszych lub niepełnosprawnych, pomieszczeniach o dużym zagrożeniu pożarowym i w pomieszczeniach zawierających dobra materialne o znacznej wartości.

#### 4. WNIOSKI

Urządzenia do detekcji zwarć łukowych są nowym rodzajem zabezpieczeń i dopiero zaczynają się pojawiać w instalacjach elektrycznych. Pozwalają na wyłączenie zasilania w szczególności w przypadku pojawienia się łuku szeregowego. W Polsce obecnie nie ma wymagania ich stosowania, jednak należy się spodziewać, że w niedalekiej przyszłości – podobnie jak obecnie wyłączniki różnicowoprądowe – będą obowiązkowym wyposażeniem niektórych obwodów.

#### 5. BIBLIOGRAFIA

1. Arc Fault Detection Device (AFDD) for automatic disconnection of the arcing circuit – Ecolight AFDD-S1. Materiały firmy ECOLIGHT LLC, [www.ecolight.ru](http://www.ecolight.ru).
2. Katalog wyrobów OEZ Minia, 2017.
3. National Electrical Code (NEC), 2008.
4. DIN VDE 0100-420:2016-02 Errichten von Niederspannungsanlagen Teil 4-42: Schutzmaßnahmen – Schutz gegen thermische Auswirkungen.
5. PN-EN 62606:2014-05 (wersja angielska) Wymagania ogólne dla urządzeń do detekcji zwarć łukowych.
6. Restrepo C. E.: Arc fault detection and discrimination methods. 53rd IEEE Holm Conference on Electrical Contacts, Pittsburgh, PA, USA, 16-19 Sept. 2007, s. 115-122, DOI: 10.1109/HOLM.2007.4318203.
7. PN-EN 61008-1:2013-05 (wersja angielska) Wyłączniki różnicowoprądowe bez wbudowanego zabezpieczenia nadprądowego do użytku domowego i podobnego (RCCB) – Część 1: Postanowienia ogólne.
8. Czapp S., Musiał E.: Wyłączniki ochronne różnicowoprądowe – część 2. Monografie INPE, zeszyt 59, 2017, COSiW SEP, Warszawa, Zakład Wydawniczy INPE w Bełchatowie, ISBN 978-83-945411-4-9.
9. PN-HD 60364-4-42:2011/A1:2015-01 (wersja polska) Instalacje elektryczne niskiego napięcia – Część 4-42: Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa – Ochrona przed skutkami oddziaływania cieplnego.
10. Johnson J., Oberhauser Ch., Montoya M., Fresquez A., Gonzalez S., Patel A.: Crosstalk nuisance trip testing of photovoltaic DC Arc-Fault Detectors. 38th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Austin, TX, USA, 3-8 June 2012, s. 001383-001387, DOI: 10.1109/PVSC.2012.6317857.

### REQUIREMENTS FOR ARC FAULT DETECTION DEVICES IN LOW-VOLTAGE ELECTRICAL INSTALLATIONS

Low-voltage electrical installations are equipped with various types of protection devices: fuses, circuit-breakers, residual current devices and surge arresters. These devices, however, may be ineffective in case of some insulation faults, which introduce risk of fire, e.g. due to rodents activity, assembly and construction work, crushing or excessive bending of the wire. This paper presents the most important requirements of PN-EN 62606 standard, dedicated to arc fault detection devices (AFDD). These devices are beginning to appear in Polish low-voltage installations, but in some countries they are already mandatory equipment for selected circuits. The operation and recommendations for application of these devices in electrical installations are also discussed.

**Key-words:** AFDD, electrical installations, protection against fire.