

doi:10.15199/48.2023.01.31

Skuteczność działania AFDD przy niskich prądach obciążenia

Streszczenie. Celem pracy jest sprawdzenie czy detektory iskrzenia AFDD są w stanie wykryć iskrzenie przy niskich prądach obciążenia - poniżej 2,5 A. Wykonano w tym celu badania laboratoryjne w których określono rzeczywiste charakterystyki czasowo-prądowe wyłączników. Analiza otrzymanych wyników wykazała, że zbadane detektory iskrzenia AFDD, spełniają wymagania normy IEC 62606, ale nie zapewniają skutecznej ochrony przy prądach obciążenia poniżej 2,5 A. Tymczasem iskrzenie nawet przy tak niewielkim prądzie może doprowadzić do powstania łuku elektrycznego i w konsekwencji do rozwoju pożaru.

Abstract. The aim of this study is to verify that AFDDs are able to detect sparking at low load currents - less than 2.5 A. Laboratory tests were carried out to determine the actual time-current characteristics of the circuit breakers. Analysis of the results obtained showed that AFDD spark detectors, meet the requirements of IEC 62606, but do not provide effective protection at load currents below 2.5 A. Meanwhile, sparking at such low currents can lead to arcing and the consequent development of a fire. (**Efficiency of AFDD operation at low load currents**)

Słowa kluczowe: detektor iskrzenia, AFDD, iskrzenie szeregowo, ochrona przeciwpożarowa

Keywords: arc fault detection device, AFDD, series arc fault, fire protection

Wstęp

Arc Fault Detection Devices (AFDD) to urządzenia zabezpieczające przed skutkami powstania łuku elektrycznego w obwodach niskiego napięcia. Nazywane są detektorami iskrzenia. Chronią instalację odbiorczą przed iskrzeniem szeregowym występującym w obrębie tego samego przewodu fazowego lub neutralnego (rys.1). Stanowią element ochrony przeciwpożarowej. Działanie AFDD opiera się na detekcji iskrzenia poprzez analizę w czasie rzeczywistym przebiegu prądu obciążenia.

Do iskrzenia w instalacji elektrycznej może dojść na skutek: mechanicznego uszkodzenia przewodów, poluzowania się styków w gniazdach zasilających, ingerencji gryzoni, uszkodzenia przewodów podczas prac remontowych.

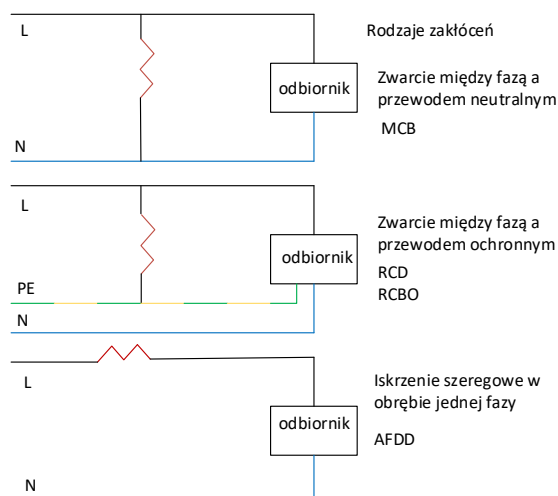
Dostępne w sprzedaży detektory iskrzenia AFDD w zależności od producenta mogą być wyposażone w jeden, dwa lub trzy moduły zabezpieczające. Najczęściej stosowanym jest aparat złożony z zabezpieczenia nadprądowego (MCB), różnicowoprądowego (RCD) i detektora iskrzenia (AFDD).

Uwarunkowania związane ze stosowaniem i instalacją wyłączników AFDD są zawarte w następujących dokumentach:

- **Normie IEC 62606** General requirement for arc fault detection device, w której znajdują się najważniejsze informacje dotyczące budowy, warunków stosowania, wymagań eksploatacyjnych oraz procedur testowania wyłączników AFDD [2].
- **Normie IEC 60364-4-42** Instalacje elektryczne niskiego napięcia. Ochrona przed skutkami oddziaływania cieplnego, która zaleca stosowanie AFDD w następujących grupach obiektów: miejscach z utrudnioną ewakuacją, w obiektach łatwopalnych i takich w których znajdują się środki łatwopalne oraz miejscach z dobrami narodowymi [3].

Zastosowanie AFDD jako element ochrony przeciwpożarowej, poprawia bezpieczeństwo i zwiększa poziom ochrony w instalacjach elektrycznych. Nie musi się ograniczać tylko i wyłącznie do miejsc i obiektów na które wskazuje norma IEC 60364-4-42. Można je stosować w każdym obwodzie niskiego napięcia, gdzie istnieje potrzeba polepszenia ochrony przeciwpożarowej.

Należy jednak zauważyć, że analizując wymagania normy IEC 62606 odnośnie zakresu prądów obciążenia podlegających detekcji, ochrona ta nie jest zapewniona w całym zakresie prądów (od zera do prądu znamionowego).



Rys. 1. Rodzaje zakłóceń w sieciach niskiego napięcia (MCB - zabezpieczenie nadprądowe, RCD - zabezpieczenie różnicowoprądowe, RCDO - zabezpieczenie nadprądowe w połączeniu z zabezpieczeniem różnicowoprądowym i detektor iskrzenia AFDD) [1]

Z charakterystyki wzorcowej opisanej w normie IEC 62606 wynika, że AFDD charakteryzują się pewną strefą nieczułości i progową wartością minimalnego prądu detekcji określonego na 2,5 A prądu obciążenia. Oznacza to, że przy niskich prądach do 2,5 A nie jest zapewniona skuteczna ochrona przeciwpożarowa. Zadziałanie wyłączników w tym zakresie prądów obciążenia jest wybiórcze, a norma nie podaje maksymalnego czasu zadziałania zabezpieczenia w tym obszarze.

Przedmiot badań

Przedmiotem badań były dwa detektory iskrzenia różnych producentów o prądzie znamionowym 16 A. Norma IEC 62606 podaje charakterystyczne punkty pomiarowe, które poprzez liniową ekstrapolację, tworzą charakterystykę czasowo-prądową określającą maksymalny czas zadziałania zabezpieczenia [2].

Celem badań i takiego doboru wyłączników była ocena skuteczności wykrywania iskrzenia poprzez porównanie wyznaczonych charakterystyk czasowo-prądowych z charakterystyką wzorcową oraz ocena skuteczności wykrywania iskrzenia przy prądach obciążenia poniżej 2,5 A. Przeprowadzone badania wykazały, że iskrzenie przy prądzie poniżej 2,5 A również jest niebezpieczne i może

doprowadzić do powstania kolumny łukowej i rozwoju pożaru.

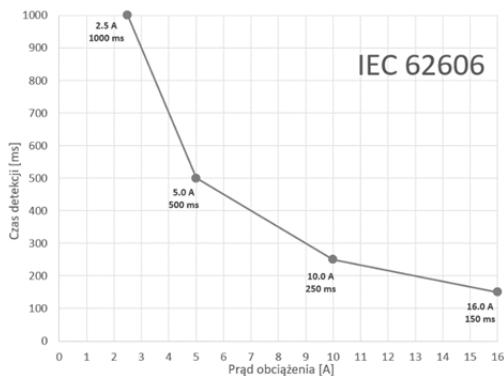
Dlatego zasadne jest zbadanie skuteczności działania wyłączników AFDD przy niskich prądach obciążenia ze względu na to, że wiele powszechnie stosowanych obecnie odbiorników energii elektrycznej charakteryzuje się niewielkim prądem obciążenia

Charakterystyki czasowo-prądowe wyznaczono dla przedziału prądowego od 0,5-16 A, zmieniając wartość prądu obciążenia co 0,5 A. Za każdym razem na stanowisku pomiarowym pozorowane było rzeczywiste iskrzenie występujące w wyniku nieciągłości przewodu fazowego.

Podczas pomiarów obciążenie miało charakter rezystancyjny. Wykonano trzy serie pomiarowe dla każdego z wyłączników.

Podstawą do oceny skuteczności detekcji iskrzenia oraz działania wyłączników AFDD jest wyznaczenie i analiza charakterystyki czasowo-prądowych i porównanie ich z charakterystyką wzorcową. Prawidłowo działający wyłącznik powinien wykryć oraz wyłączyć iskrzenie w czasie krótszym lub równym czasowi wynikającemu z charakterystyki wzorcowej przy danym prądzie obciążenia (rysunek 2).

Charakterystyki czasowo-prądowe badanych wyłączników AFDD wyznaczono na stanowisku pomiarowym w Laboratorium Nowoczesnych Aparatów Elektrycznych Politechniki Wrocławskiej, które zostało zbudowane według wytycznych normy IEC 62606 określającej szczegółowe wymagania odnośnie testowania wyłączników. Schemat układu pomiarowego zaprezentowany został na rysunku 3. Podstawowym elementem stanowiska laboratoryjnego jest generator iskrzenia. Pomiary wykonano w powtarzalnych warunkach przy stałej wartości maksymalnego rozwarcia styków oraz przy tej samej prędkości rozchodzenia się styków. Symulując tym samym rzeczywiste iskrzenie jakie mogłoby powstać w instalacji elektrycznej.

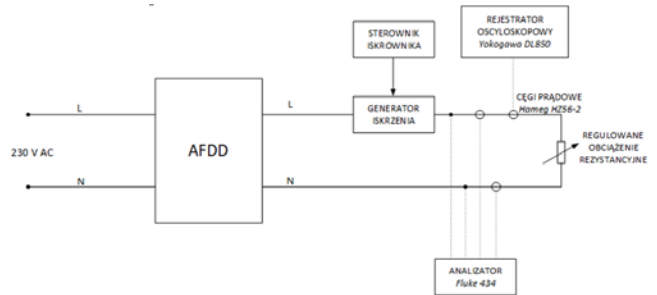


Rys.2. Wzorcową charakterystykę czasowo-prądową wg normy IEC 62606 [2]

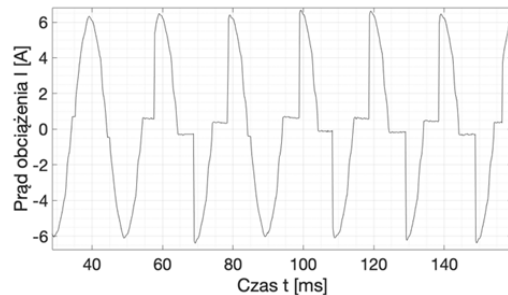
Do pomiarów wykorzystano następujące przyrządy pomiarowe:

- Rejestrator oscyloskopowy - **Yokogawa DL 850**
- Cęgi prądowe - **Hameg HZ56-2 Current Probe**
- Analizator jakości energii - **Fluke 434 Power Quality Analyzer**.

Pomiar czasu zadziałania polegał na analizie przebiegu prądu obciążenia zarejestrowanego przez oscyloskop o dużej częstotliwości próbkowania. Wytworzone na stanowisku iskrzenie pomiędzy elektrodami pomiarowymi w przebiegu prądu charakteryzuje się pojawieniem krótkotrwałych (1-2 ms) przerw w przepływie prądu (tzw. *shoulders*) zaprezentowanych na rysunku 4. Czas zadziałania wyłącznika jest to czas od pojawienia się pierwszej krótkotrwałej przerwy do przerwania przepływu prądu przez detektor iskrzenia [4,5,6,7].



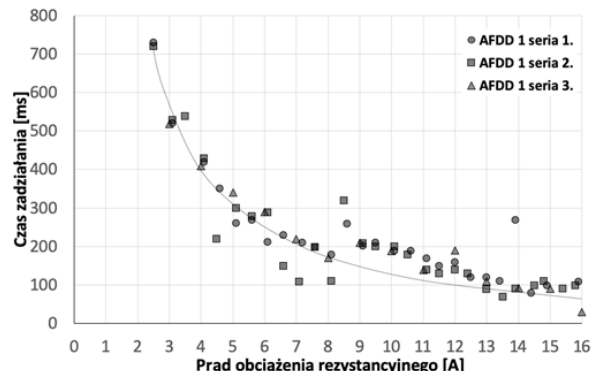
Rys. 3. Schemat układu pomiarowego do wyznaczenia charakterystyk czasowo-prądowych wyłączników AFDD w Laboratorium Nowoczesnych Aparatów Elektrycznych



Rys. 4. Przebieg prądu podczas zjawiska iskrzenia w badanym obwodzie.

Wyniki badań laboratoryjnych

Badania rozpoczęto od wyznaczenia charakterystyki dla pierwszego wyłącznika. Wyniki badań zawierające trzy przeprowadzone serie pomiarowe zaprezentowano na rys. 5.



Rys. 5. Charakterystyka czasowo-prądowa detektora AFDD 1

Z charakterystyki czasowo-prądowej AFDD 1 wynika, że wyłącznik zaczyna wykrywać iskrzenie przy prądzie 2,5 A ze średnim czasem wyłączenia powyżej 718 ms. Uzyskany czas wyłączenia mieści się w zakresie określonym przez charakterystykę wzorcową.

Analizując 3 serie pomiarowe, należy zwrócić uwagę, że dla prądów obciążenia poniżej 9 A detektor AFDD 1 przy tych samych wartościach prądu obciążenia posiada duży rozrzut czasów wyłączenia i nie charakteryzuje się powtarzalnością czasów wyłączeń.

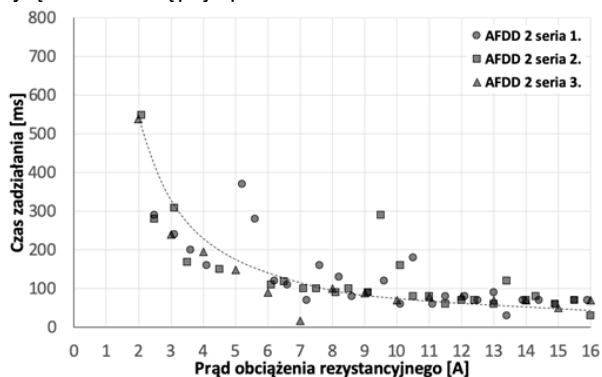
Powyżej 9 A detektor AFDD 1 wykrywa iskrzenie z większą powtarzalnością przy tych samych parametrach prądu obciążenia. Punkty pomiarowe są bardziej skupione.

Wyłącznik charakteryzuje się nieczułością dla prądów obciążenia poniżej 2,5 A. W badanym zakresie od 0,5 A do 2,0 A, detektor AFDD 1 nie dokonał detekcji iskrzenia nawet o intensywnym charakterze. Pomimo iż jest to zgodne z normą w tym zakresie prądowym poniżej 2,5 A także, może dojść do powstania kolumny łukowej.

Analogicznie do AFDD 1, wykonano trzy serie pomiarowe dla detektora AFDD 2. Rysunek 6 prezentuje

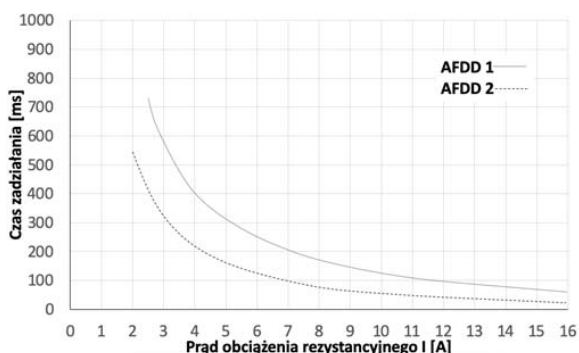
uzyskane wyniki oraz wykreślona na ich podstawie charakterystykę czasowo-prądową.

Z analizy rys. 6 wynika, że AFDD 2 charakteryzuje się progiem detekcji wynoszącym 2 A. Dla tej wartości prądu wyłącznik dokonuje detekcji iskrzenia z średnim czasem wyłączenia 540 ms. Wyniki cechuje duża powtarzalność czasów wyłączeń przy tych wartościach obciążenia prądowego w trzech przeprowadzonych seriach badań. Przy prądzie powyżej 6 A otrzymywane czasy stabilizują się i wyłączenie następuje po około 100 ms.



Rys. 6. Charakterystyka czasowo-prądowa wyłącznika AFDD 2

Wszystkie punkty pomiarowe mieszczą się w zakresie charakterystyki wzorcowej i spełniają wymagania normy.



Rys. 7. Porównanie charakterystyk czasowo-prądowych detektorów AFDD 1 oraz AFDD 2.

Z porównania charakterystyk czasowo-prądowych detektorów iskrzenia AFDD 1 oraz AFDD 2 (rys 7) wynika, że AFDD 2 posiada niższy próg detekcji. Jest w stanie wykryć i wyłączyć iskrzenie przy prądzie obciążenia poniżej minimalnego prądu detekcji wskazanego przez normę IEC 62606. Wyłącznik AFDD1 posiada natomiast próg detekcji $I=2,5$ A z czasem $t=718$ ms. Z przeprowadzonych badań laboratoryjnych wynika także, że wyłącznik AFDD 2 cechuje się większą powtarzalnością wyników przy tych samych parametrach wymuszenia prądowego.

Aproksymowane charakterystyki czasowo-prądowe obu detektorów iskrzenia posiadają analogiczny kształt, niemniej jednak AFDD 1 zawsze działa z czasem dłuższym niż AFDD 2 (tab.1).

Tab.1. Średnie czasy wyłączenia dla charakterystycznych wartości prądów łuku

| Badany wyłącznik | Prąd obciążenia | | | |
|------------------|-----------------|--------|--------|--------|
| | 2,5 A | 5,0 A | 10,0 A | 16,0 A |
| AFDD 1 | 724 ms | 299 ms | 192 ms | 79 ms |
| AFDD 2 | 285 ms | 260 ms | 96 ms | 56 ms |

Podsumowanie i wnioski

Przeprowadzone w Laboratorium Nowoczesnych Aparatów Elektrycznych badania dotyczące skuteczności

działania wyłączników AFDD przy niskich prądach obciążenia wykazały, że:

- wyznaczone charakterystyki czasowo-prądowe detektorów AFDD 1 i AFDD 2 są zgodne z normą IEC 62606 i spełniają jej wymagania,
- detektory iskrzenia wykrywają iskrzenie w czasie krótszym niż czas dopuszczalny określony przez charakterystykę wzorcową,
- rzeczywisty próg zadziałania AFDD nie jest jednakowy; AFDD 1 dokonuje detekcji od 2,5 A, natomiast wyłącznik AFDD 2 jest w stanie wykryć iskrzenie już od 2,0 A,
- zapewnienie ochrony przeciwpożarowej przez detektor iskrzenia AFDD jest skuteczne przy prądach obciążenia od 2,5 A,
- w zakresie prądowym od 0 do 2,5 A ochrona przez AFDD nie jest zapewniona,
- przy doborze detektorów iskrzenia AFDD zasadne jest uwzględnienie także minimalnych prądów obciążenia, aktualnie w procesie projektowym dobór aparatów elektrycznych opiera się o uwzględnienie wyłącznie maksymalnego prądu obciążenia co w przypadku dodatkowej ochrony poprzez wyłącznik AFDD może być niewystarczające. Przeprowadzone obserwacje wykazały, że długotrwałe iskrzenie przy prądzie obciążenia poniżej 2,5 A może doprowadzić do powstania kolumny łukowej i w konsekwencji do powstania pożaru,
- badania umieszczone w pracy przeprowadzone zostały na modelowym obwodzie zgodnym z normą IEC 62606 stosowanym do testowania wyłączników AFDD. Jest to obwód o charakterze rezystancyjnym. W rzeczywistych obwodach niskiego napięcia czysto rezystancyjne obciążenie w zasadzie nie występuje, a iskrzenia w zakresie prądowym do 2,5 A mogą stanowić poważne zagrożenie pożarowe [8].

Autorzy: dr inż. Joanna Budzisz, email joanna.budzisz@pwr.edu.pl, mgr inż. Michał Czosnyka, email michal.czosnyka@pwr.edu.pl, Politechnika Wroclawska, Wydział Elektryczny, Katedra Energoelektryki ul. wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław

LITERATURA

- [1] Müller P., Tenbohlen S., Maier R., Anheuser M., Characteristics of Series and Parallel Low Current Arc Faults in the Time and Frequency Domain, in 2010 Proceedings of the 56th IEEE Holm Conference on Electrical Contacts, 2010: pp. 1–7. <https://doi.org/10.1109/HOLM.2010.5619539>.
- [2] IEC 62606:2013 General requirements for arc fault detection devices, (2013).
- [3] IEC 60364-4-42:2011 Low voltage electrical installations - Part 4-42: Protection for safety - Protection against thermal effects, (2019).
- [4] Qabbani G Al., Tests of Series Arcing and Arc Fault Detection Devices in Low Voltage Systems, KTH Royal Institute of Technology School of Electrical Engineering and Computer Science. (2021). <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:kth:diva-301621>.
- [5] Restrepo C.E., Arc Fault Detection and Discrimination Methods, in Electrical Contacts - 2007 Proceedings of the 53rd IEEE Holm Conference on Electrical Contacts, 2007: pp. 115–122. <https://doi.org/10.1109/HOLM.2007.4318203>.
- [6] Han X, Li D., Huang L., Huang H., Yang J., Zhang Y., Wu X., Lu Q., Series Arc Fault Detection Method Based on Category Recognition and Artificial Neural Network, Electronics. 9 (2020) 1367. <https://doi.org/10.3390/electronics9091367>.
- [7] Ghaza A. I, Tests of Series Arcing and Arc Fault Detection Devices in Low Voltage Systems, (2021). <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1592521/FULLTEXT01.pdf>.
- [8] Budzisz J., Czosnyka M., Arc fault detection devices efficiency in cooperation with switch-mode power supplies. Electric Power Systems Research. 2022, vol. 209, art. 107943, s. 1-10.