

JOURNAL INTERNATIONAL DE TECHNOLOGIE, DE L'INNOVATION,
DE LA PHYSIQUE, DE L'ENERGIE ET DE L'ENVIRONNEMENT

Tests de laboratoire pour les dispositifs AFDD

B. Hnatiuc, M. Dordescu



ISSN : 2428-8500

DOI : 10.18145/jitipee.v5i2.218

Le sujet de cet article a été présenté lors du colloque sur les arcs électriques (CAE XIV) les 19 et 20 mars 2019 à Bourges.

L'article publié a fait l'objet d'une expertise indépendante par deux spécialistes du domaine.

Tests de laboratoire pour les dispositifs AFDD

Bogdan Hnatiuc⁽¹⁾, Marian Dordescu⁽¹⁾

⁽¹⁾ Laboratoire de Génie Electrique, Faculté d'Electromécanique Navale, Université Maritime de Constanța, Strada Mircea cel Bătrân nr. 104, Constanța, 900663, Roumanie.

bogdan.hnatiuc@cmu-edu.eu

Résumé –L'évolution des équipements de protection électrique a permis l'inclusion de différents types de protection dans le même appareil. Un tel dispositif moderne peut assurer une protection contre les surintensités, contre le courant différentiel / résiduel et contre la production de l'arc électrique dans l'installation où il est utilisé.

Les tests d'un tel dispositif conformément aux règles européennes en vigueur doivent être effectués pour chacune de ses fonctionnalités. Dans cet article ont été comparées les caractéristiques de trois dispositifs bipolaires pour la détection de défaut d'arcs.

La caractéristique de protection $t(I)$ a été tracée en changeant le courant électrique simulant le défaut à l'aide d'un montage spécifique contenant un autotransformateur et un transformateur. La mesure des paramètres correspondant à la protection différentielle, à savoir le courant de déclenchement, le temps de déclenchement et la résistance de liaison à la terre, a été réalisée à l'aide d'un kit spécifique Profitest MTech (Gossen Metrawatt).

Un circuit pour simuler à la fois l'apparition de l'arc électrique en série avec le consommateur pour un circuit monophasé, un arc en parallèle entre les conducteurs biphasés, et une surtension supérieure à 270 volts, a été spécialement conçu pour déclencher la protection correspondante à la détection d'arc. Les codes d'erreur indiqués par le dispositif ont été comparés avec les codes théoriques des catalogues des fabricants.

Mots clés : détection d'arc électrique, AFDD, RCCB, MCB

Introduction

L'évolution des dispositifs de protection électrique a progressivement cherché à éliminer les risques d'incendie, de choc électrique, ou d'apparition de l'arc dans les installations électriques. Les fonctionnalités correspondantes à ces risques étaient à l'origine indépendantes, mais l'évolution technologique a permis la construction de dispositifs complexes comportant de protections multiples. Le dispositif AFDD (*Arc Fault Detection Device*) fait partie de cette catégorie d'appareillage électrique. Les disjoncteurs conventionnels ne réagissent qu'aux surcharges et aux courts-circuits, ils ne protègent donc pas contre les conditions d'arc. Les AFDD constituent la nouvelle génération de dispositifs AFCI (*Arc fault circuit interrupter*), initialement introduits aux États-Unis pour la détection d'arc dans les installations électriques, [1]. Cet article vise à tester toutes les fonctionnalités fournies par un dispositif AFDD.

Les principales raisons de l'apparition de l'arc dans les installations électriques sont les suivantes [2]:

- conducteurs écrasés ou pliés,
- contacts et connexions faibles,
- conducteurs traités avec négligence ou tendus,
- fils cassés ou interruptions d'un conducteur,
- dommages à l'isolation des conducteurs causés par des objets métalliques coupants,
- vieillissement de l'isolation,
- rayons UV,
- morsures d'animaux ou de rongeurs.

Les dispositifs de protection ont été initialement conçus pour une protection de base contre les incendies en isolant les récepteurs du réseau d'alimentation. Cette opération suppose la déconnexion en cas des surintensités ou de court-circuit. La fonctionnalité de l'appareil s'appelle MCB et se déroule selon la caractéristique de protection $t(I)$.

La protection contre les chocs électriques, qui surviennent généralement par un potentiel de mise à la terre accidentel, a conduit à l'émergence de relais de protection différentiels, assurant la fonctionnalité RCCB. Au fil de temps cette fonctionnalité est devenue cumulative pour les relais, par rapport à la fonctionnalité MCB, permettant ainsi la création des relais RCBO / RCCB, assurant à la fois la prévention des chocs électriques et la prévention des incendies.

Les progrès de la technologie numérique ont conduit à l'émergence des circuits intégrés capables de vérifier la conformité à la forme d'onde sinusoïdale de la tension d'alimentation. La détection des pics de tension, qui correspond à l'amortissement et à l'extinction d'un arc électrique, a permis la mise en place de nouveaux dispositifs de protection contre les défauts d'arc électrique, appelés AFDD [2]. Cette fonctionnalité apporte une amélioration de la protection contre les incendies aux fonctionnalités précédentes conformément à la Figure 1 [3].

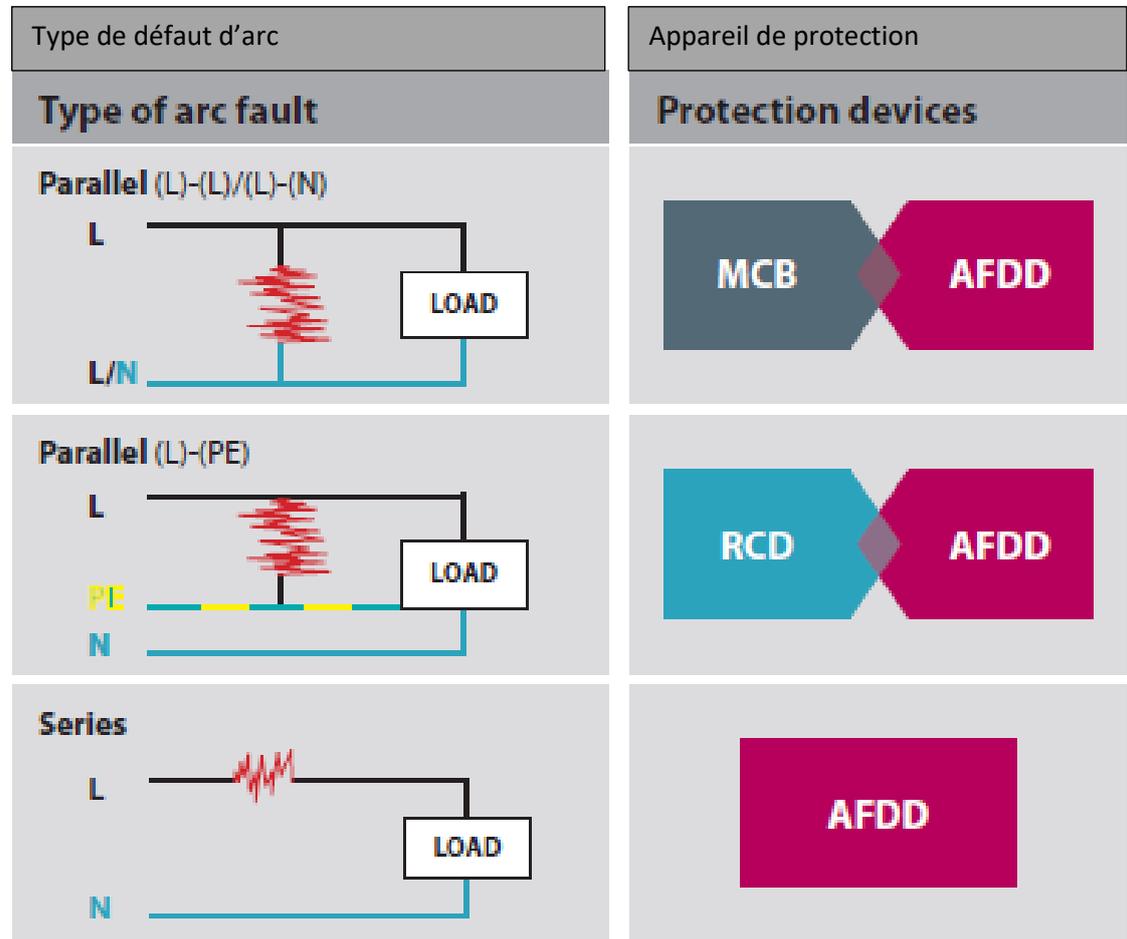


Figure 1 : Types d'arcs électriques détectés par AFDD.

Dans la Figure 1, on peut voir les types des fonctionnalités qui interviennent pour la déconnexion de circuit en fonction du type d'arc électrique produit. Ainsi si l'arc se produit en parallèle avec la charge du circuit entre deux phases ou entre une phase et le neutre du réseau les fonctionnalités MCB ou AFDD doivent assurer la protection. Si l'arc se produit en parallèle avec la charge de circuit entre une phase et la mise à la terre du réseau les fonctionnalités RCD ou AFDD doivent assurer la protection. Pour un arc produit en série par rapport à la charge, uniquement la fonctionnalité AFDD permet la déconnexion du circuit.

Le dispositif permet également d'identifier le type d'arc électrique à l'origine de la déconnexion en donnant un code indiqué lors de la connexion suivante.

Les appareils testés sont bipolaires avec un courant nominal de 16 A et un courant nominal différentiel de 30 mA, une tension nominale de 230 V à une fréquence de 50 Hz. Ils ont des fabrications différentes, deux d'entre eux étant du type C16 et le troisième du type B16. Les dispositifs de type C16 ont des temps de déconnexion plus grands que les dispositifs de type B16 pour les mêmes valeurs des courants de défaut. Ces temps sont imposés selon la courbe de protection qui indique le temps de déconnexion en fonction du courant de défaut.

Les tests ont été effectués séparément sur chaque phase des appareils.

1. Montage Expérimental

Les dispositifs AFDD sont symbolisés comme dans la Figure 2 et contiennent une structure interne indiquée dans la Figure 3, [4]. Dans Figure 2, on observe que chaque phase est prévue avec un transformateur de courant électrique et une protection thermique contre les surintensités. La vérification du déclenchement de l'appareil se fait manuellement en appuyant sur le bouton *T*.

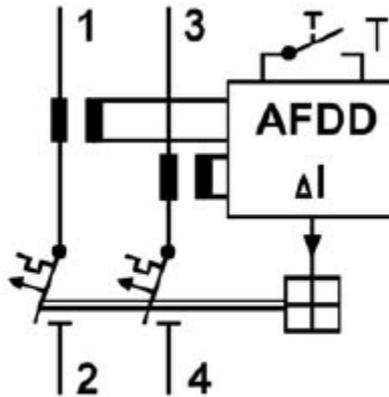


Figure 2 : Symbole d'un dispositif type AFDD.

Les éléments de la Figure 3 sont : le levier manuel (*Handle*), le levier de blocage (*Delatching lever*), la DEL (LED) pour indiquer l'état de l'appareil, les transformateurs (*LF, HF*), le bouton de test, les contacts, les protections contre les surintensités (*magnetic actuator, bimetal*), la protection différentielle (*electronic actuator*). Les deux transformateurs permettent la mesure du bruit correspondant à la tension d'arc et la mesure du courant électrique avec l'identification des pauses quand sa valeur est zéro. Par traitement de ces signaux, l'apparition de l'arc électrique est identifiée.

Il faut noter qu'il n'est pas possible de connecter le dispositif AFDD si la tension appliquée entre les éléments bipolaires d'entrée n'est pas suffisante pour l'alimentation des circuits électroniques internes. Par conséquent le test de la fonction MCB ne peut pas être effectué avec un set de test classique pour l'injection du courant électrique, car la tension entre les conducteurs à la sortie est trop faible. On a utilisé pour les tests un circuit présenté dans la Figure 4.

Le circuit de la Figure 4 est connecté directement au réseau. Les éléments composants du circuit sont : *SF* – fusible monopolaire de 10 A pour protéger l'autotransformateur *ATR* permettant le réglage de la tension du 0 V à 240 V. Cette tension est appliquée au primaire du transformateur *TRAF* qui diminue le niveau de tension par un rapport de 220 / 24. Ce transformateur est habituellement utilisé pour les installations d'éclairage. L'enroulement secondaire du transformateur présente une réactance de fuite importante qui permet son fonctionnement pour courtes périodes en cas de court-circuit. *AFDD* est le dispositif à tester et *A* est une pince ampérométrique connectée à un multimètre de type PeakTech 1615.

En ajustant la tension au secondaire de l'ATR8 dans la plage de 10 V au 100 V, on obtient une plage de variation de courant entre 16 A et 90 A qui passe par l'AFDD. La valeur seuil mesurée de 65 A est un courant de court-circuit pour l'AFDD. Lors de la détection de cette valeur, l'appareil effectue une déconnexion pratiquement instantanée, selon la caractéristique de protection théorique, comme le montre la Figure 5 fournie par le fabricant dans le catalogue de produits testés, [5].

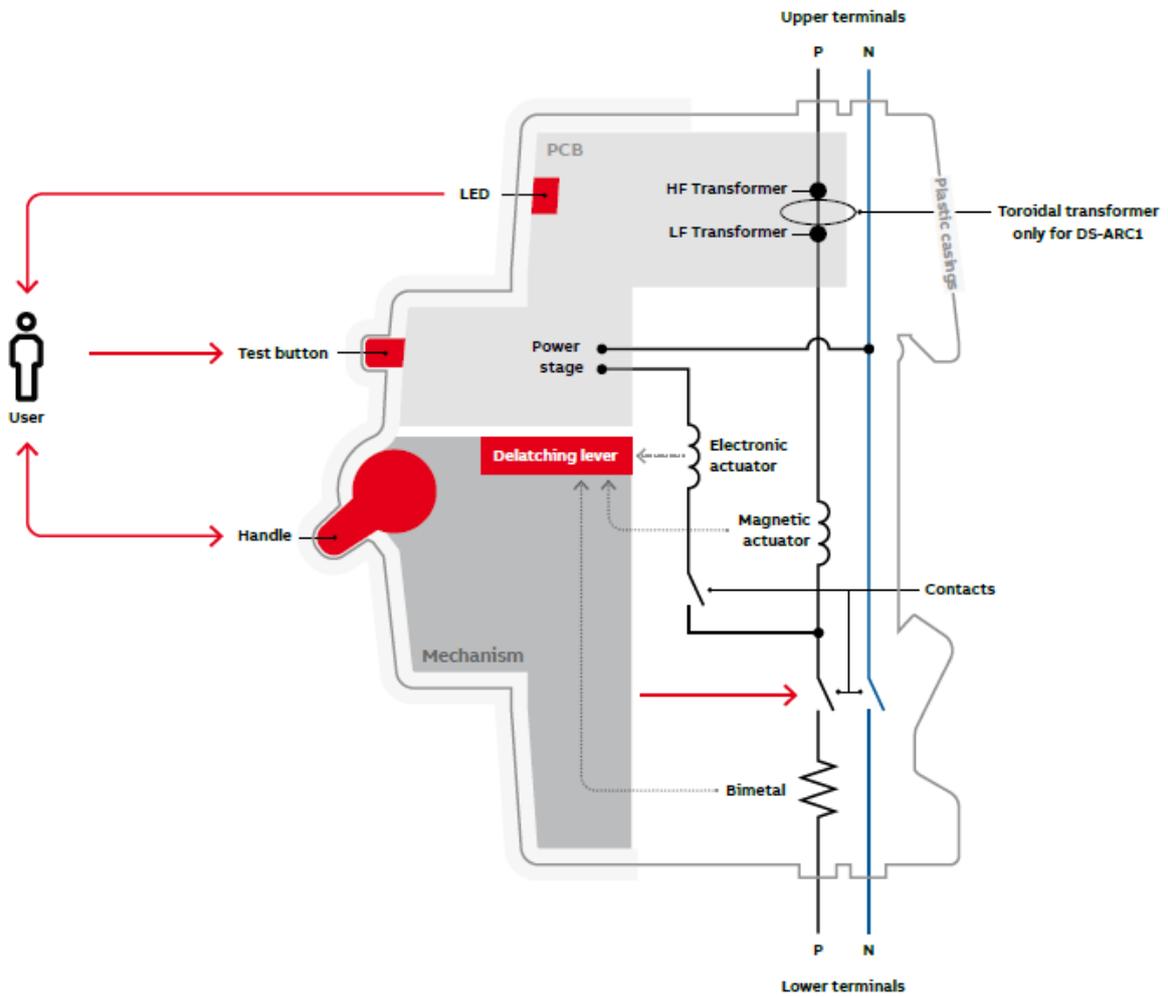


Figure 3 : Structure interne de l'AFDD.

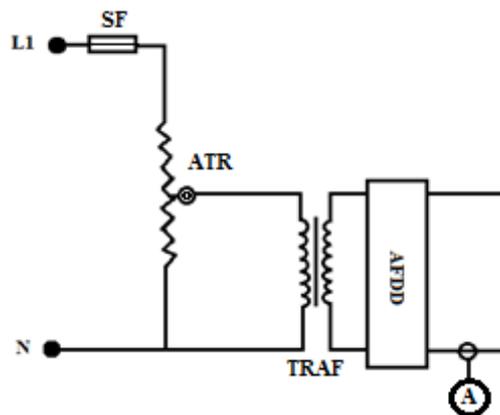


Figure 4 : Circuit pour tester la fonctionnalité MCB de l'AFDD.

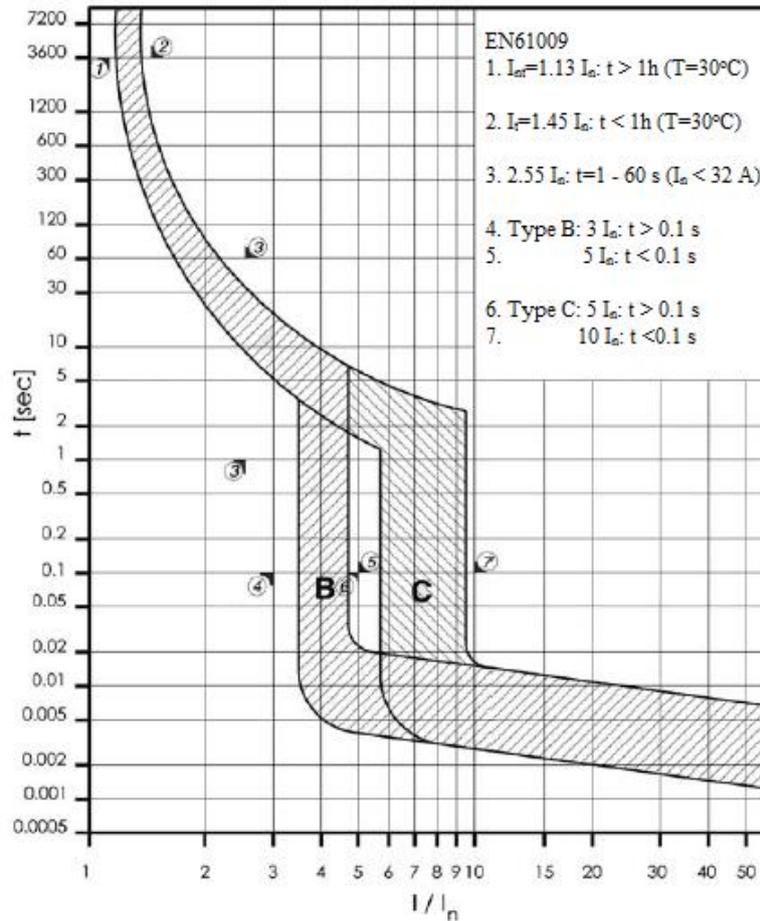


Figure 5 : Caractéristique de protection pour les produits Schrack.

Pour nos tests, nous avons considéré une température initiale de 27°C avant chaque simulation d'une surintensité. La température a été mesurée avec un pistolet à faisceau dans le domaine infrarouge de type UNI-T UT300A. Les mesures ont été effectuées latéralement à l'AFDD à une distance de 10 mm. Le temps jusqu'à la déconnexion pour chaque test a été déterminé par un chronomètre digital. Pour chaque valeur correspondante au courant de défaut nous avons effectué 3 tests et les valeurs moyennes pour ces temps ont été prises en compte pour tracer les caractéristiques de protection.

Afin de vérifier la fonction RCCB correspondant à la protection différentielle, un appareil multifonctionnel spécialisé de type Profitest Metrogossen a été utilisé, voir la Figure 6. Le schéma électrique de connexion pour vérifier la conformité des dispositifs testés peut être observé aussi dans la Figure 6. L'appareil de mesure possède 2 connecteurs : le premier connecté sur n'importe quelle phase et le deuxième relié à la terre. Les tests sont effectués automatiquement par l'appareil spécialisé de mesure, pendant que le dispositif à tester est connecté. Pour chaque cas, les paramètres mesurés sont le temps de déconnexion, la valeur maximum du courant électrique différentiel, et l'impédance maximale de la boucle de mise à la terre. La préparation de l'appareil de mesure consiste à choisir les paramètres suivants: le type A de protection différentielle, le courant nominal principal $I_n = 16 \text{ A}$ et le courant nominal différentiel $I_{\Delta n} = 30 \text{ mA}$. Le type A signifie que le dispositif est sensible au courant alternatif, sinusoïdal et/ou pulsé avec un composant continu de 0,006 A, avec ou sans contrôle de l'angle de phase, indépendamment de la polarité, avec une évolution rapide ou lente des courants, [6].

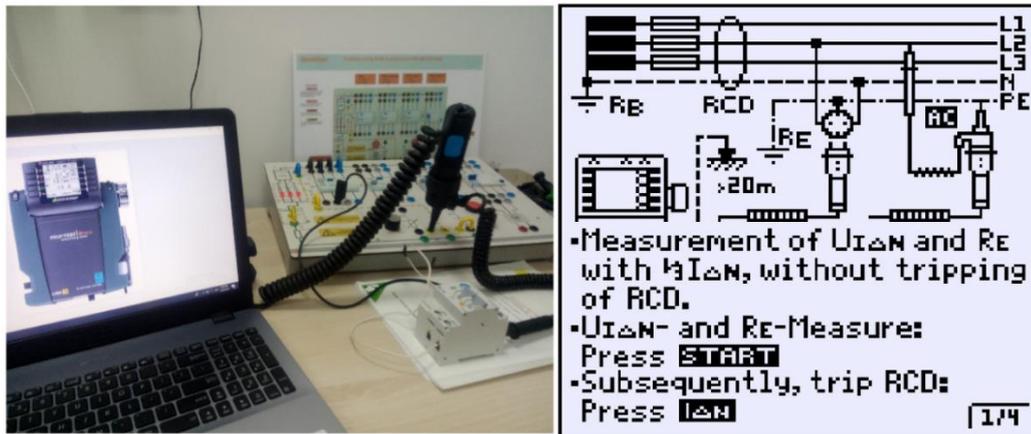


Figure 6 : Schéma de connexion pour tester les dispositifs à la fonctionnalité RCCB (RCD).

Le test pour le temps de déconnexion est démarré en choisissant la position de la molette de sélection sur $I_{\Delta N}$ et en appuyant sur *Start*. Après cela, le temps de déclenchement et la résistance de mise à la terre sont affichés à l'écran.

Le test pour le courant électrique différentiel maximum est démarré en choisissant la position de la molette de sélection sur $I_{F\angle}$ et en appuyant sur *Start*. Si le test peut être effectué pour les 2 cas, le voyant vert sur l'écran de l'appareil de mesure commence à clignoter. Les résultats d'un tel test sont montrés dans la Figure 7.

Tous les dispositifs AFDD ont été testés 3 fois pour la fonctionnalité RCB. Les résultats mesurés ont été quasi identiques dans chaque cas.

La détection de l'arc dans l'installation électrique se fait par l'analyse de la forme du signal d'alimentation à l'aide des transformateurs *HF* et *LF* de la Figure 3. Si sur le signal sinusoïdal sont superposés les pics d'amorçage et d'extinction de l'arc électrique, respectivement le signal modulé avec harmoniques supérieures produites par le même arc, Figure 8, alors le dispositif doit réaliser la déconnexion du circuit dans un temps le plus court que possible.

Les dispositifs AFDD doivent faire la déconnexion pour tout arc électrique ayant une énergie supérieure à 100 J. Selon le standard pour le courant nominal de 10–40 A, le courant nominal différentiel de 30 mA et une tension nominale de 230 V à 50 Hz, le dispositif a une durabilité mécanique de 20.000 cycles, une durabilité électrique allant jusqu'à 10.000 cycles et la température de déclenchement est de -25 à 40 °C.

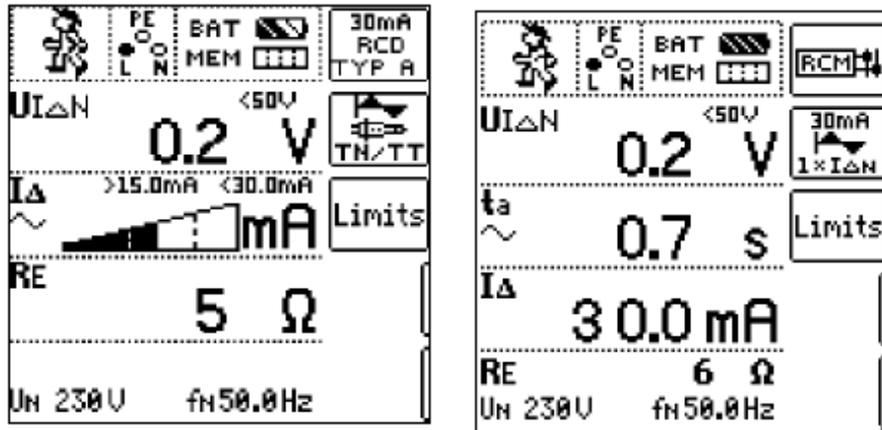


Figure 7 : Résultats d'un test pour la fonctionnalité RCB.

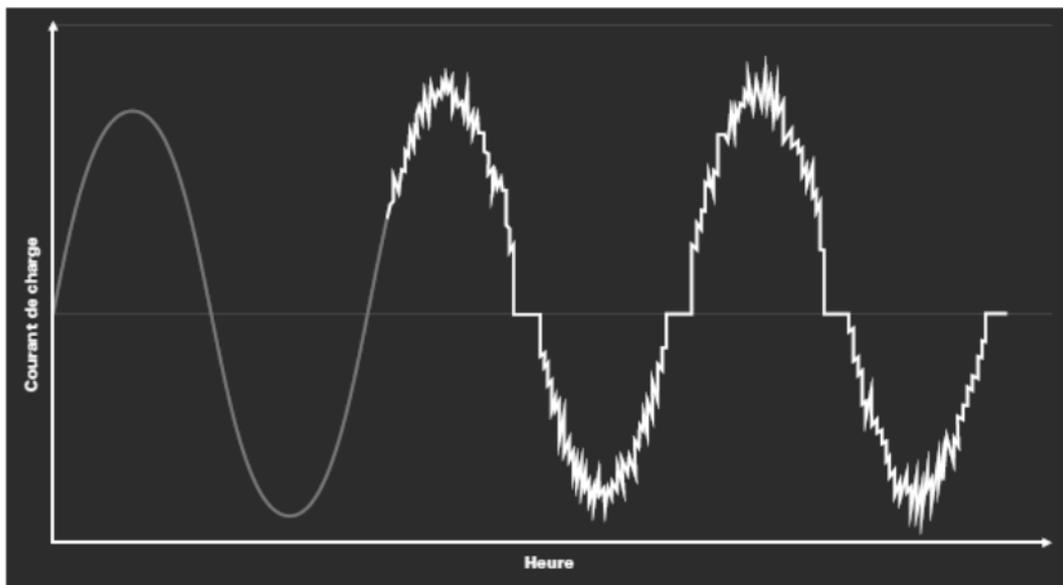


Figure 8 : Courant d'arc en série se produisant subitement sur la deuxième période de fonctionnement.

Pour tester la fonctionnalité de détection de l'arc électrique, nous avons utilisé un schéma tel que celui montré sur la Figure 9.

Cette installation contient un transformateur de rapport 400/230V, des relais de commande $K1$, $K2$, $K3$, un contacteur $K4$, tous avec une bobine à 230V AC, le dispositif FI à tester de type AFDD ($I_{\Delta n}=0,03A$, $I_n=16A$, $U_n=230V$), un potentiomètre, un moteur électrique M monophasé, deux résistances de puissance $R1$ (de 44 Ω) et $R2$ (de 10 k Ω) et un condensateur, $C1$ (de 20 μF à 400 V).

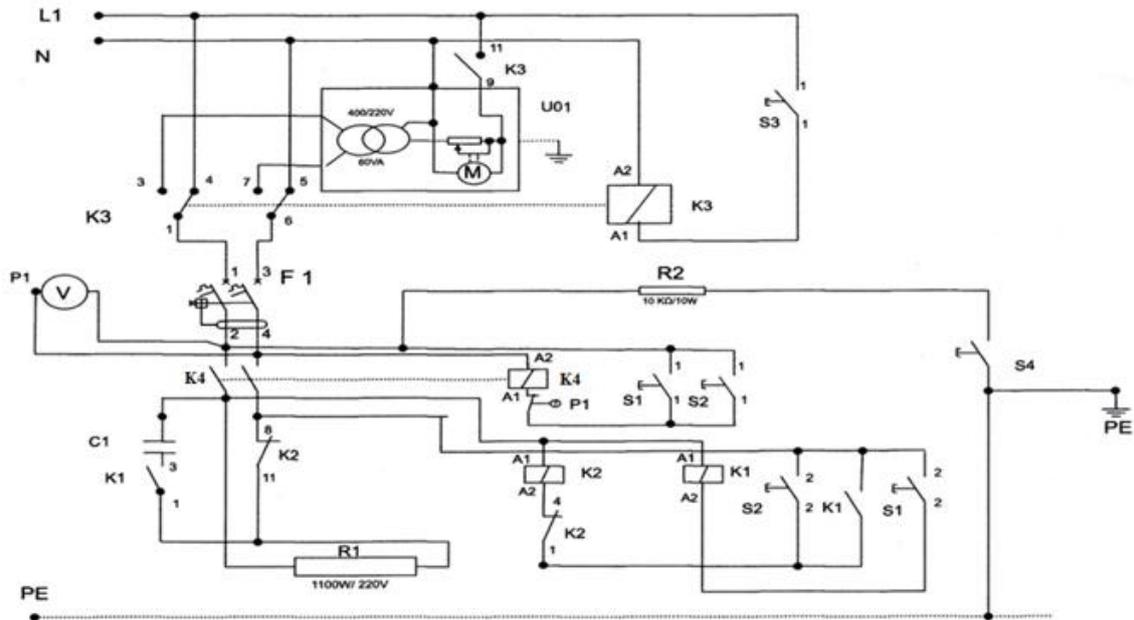


Figure 9 : Schéma pour simuler différents types d'arc électrique.

- Si on appuie sur le bouton *S1* on branche la bobine du contacteur *K4* qui ferme ses contacts normal ouverts et connecte la résistance de puissance *R1* qui limite le courant électrique par le circuit. En même temps la bobine du contacteur *K1* est branchée, il ferme ses contacts et fournit l'énergie pour la bobine du contacteur *K2*. Le condensateur *C1* est connecté en parallèle avec *R1* qui est la charge du circuit. Le condensateur a tendance à se décharger, mais il n'arrive pas à se décharger complètement. Le contact 8 – 11 du contacteur *K2* va tenter de s'ouvrir ce qui va produire un arc électrique parallèle avec la charge du circuit.
- Si on appuie sur le bouton *S2* on branche la bobine du contacteur *K4* qui ferme ses contacts normalement ouverts et connecte comme charge du circuit la résistance de puissance *R1*. En même temps dans la partie inférieure du circuit le bouton *S2* se ferme et connecte en parallèle le résisteur *R1* avec la bobine du contacteur *K2* et le contact normalement fermé *K2*. Dans ce cas le même contact (8 – 11 de *K2*) a tendance à s'ouvrir et ainsi un arc électrique détecté comme arc série se produit entre la phase et le neutre du réseau.
- Si on appuie sur le bouton *S3* on branche la bobine du contacteur *K3* qui ferme ses contacts ouverts et mets sous tension le moteur *M*. En même temps le contacteur change l'alimentation du réseau au secondaire du transformateur pour le dispositif *AFDD*. Le moteur change la position du curseur et la tension au primaire du transformateur commence à augmenter. Quand la valeur au secondaire du transformateur atteint 270 V, cette valeur doit être saisie par *AFDD* qui doit déconnecter le circuit.
- Si on appuie sur le bouton *S4* on introduit un courant électrique qui passe par la phase du réseau, le résisteur *R2* et la terre du réseau. Ce courant est de type différentiel et doit être aussi déconnecté par le dispositif testé.

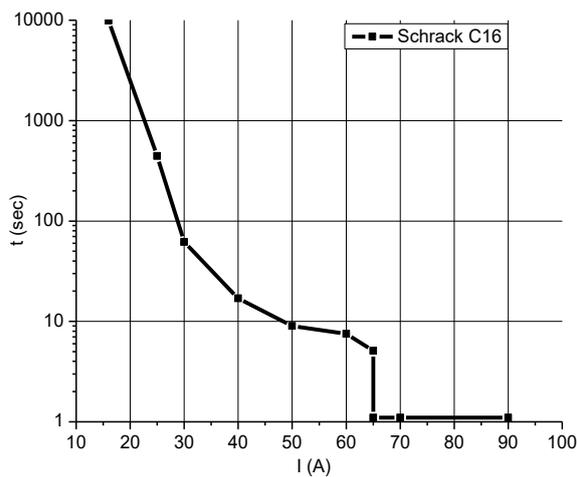
Pour identifier le défaut détecté par le dispositif AFDD, il faut suivre le signal lumineux lors de la prochaine mise en fonction:

- lors de l'apparition d'un arc électrique en série dans le circuit, en déclenchant l'appareil, il nous avertit par un signal lumineux jaune (répété par trois allumages successifs);
- lors de l'apparition d'un arc électrique en parallèle dans le circuit, c'est-à-dire entre deux phases ou une phase et le neutre, en déclenchant l'appareil, il nous avertit par une série de deux signaux lumineux jaunes (répété par trois allumages successifs);
- lors de l'apparition d'un arc électrique à cause d'une surtension qui a dépassé la valeur de 270 V, en déclenchant l'appareil, il nous avertit par une série de quatre signaux lumineux jaunes (répété par trois allumages successifs).

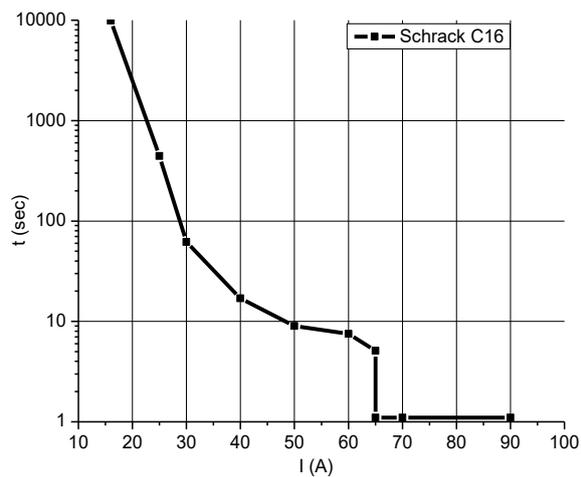
Chaque succession d'allumages du signal lumineux jaune est répétée trois fois, avant que l'appareil n'indique un signal lumineux vert pour opération ultérieure.

2. Résultats et commentaires

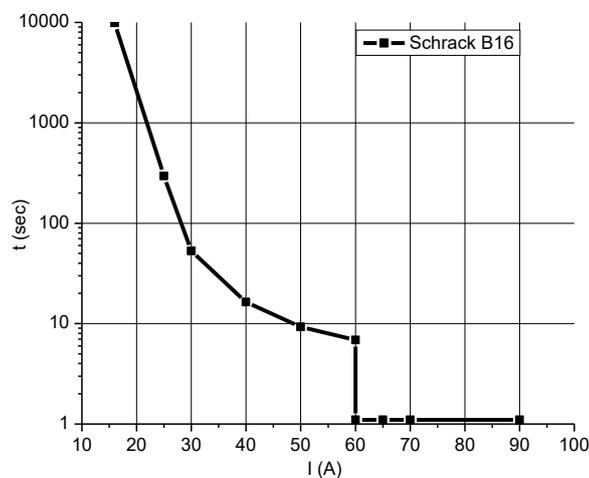
Les données expérimentales qui correspondent à la fonctionnalité MCB ont permis de tracer les caractéristiques de protection pour les trois dispositifs AFDD (Figures 10.a., 10.b. et 10.c.).



a. Caractéristique du C16, producteur Schrack



b. Caractéristique du C16, producteur Eaton



c. Caractéristique du B16, producteur Schrack

Figure 10 : Caractéristiques de protection des AFDD pour surintensités du courant électrique.

La Figure 10 montre que les deux dispositifs AFDD C16 ont des réponses pratiquement identiques sur leur partie dépendante en assurant les caractéristiques de protection. Le dispositif B16 fournit un temps plus faible de déconnexion.

Les durées de déconnexion expérimentales correspondent à la plage de valeurs indiquée dans la Figure 5. Le seuil de la valeur de court-circuit est atteint plus tôt par les dispositifs de protection de type B (au courant de 60 A pour le dispositif testé), que par les dispositifs de type C (au courant de 65 A pour les dispositifs testés), conformément à la Figure 5.

La simulation d'un courant de court-circuit provoque une déconnexion pratiquement instantanée des appareils, en un temps qui ne pouvait pas être mesuré avec le chronomètre disponible. En conséquence, les valeurs des temps de déconnexion considérés pour les défauts de court-circuit ont été choisies finies, mais de manière à ce que la partie indépendante des caractéristiques de protection puisse être facilement observée.

La conformité de la protection différentielle doit être rapportée au standard IEN / EN61009-1. Ainsi, pour la fonctionnalité RCCB des dispositifs testés, le temps de déconnexion doit être inférieur à 150 msec, le courant différentiel doit être inférieur à 30 mA, et l'impédance maximale de la boucle de mise à la terre doit être de 2.73 Ω pour le type B et de 1.37 Ω pour le type C.

Dans les Figures 11.a. et 11.b. sont présentés les résultats obtenus pour la première phase du dispositif AFDD C16 Eaton. Dans les Figures 12.a. et 12.b. sont présentés les résultats obtenus pour la deuxième phase du dispositif AFDD C16 Eaton.

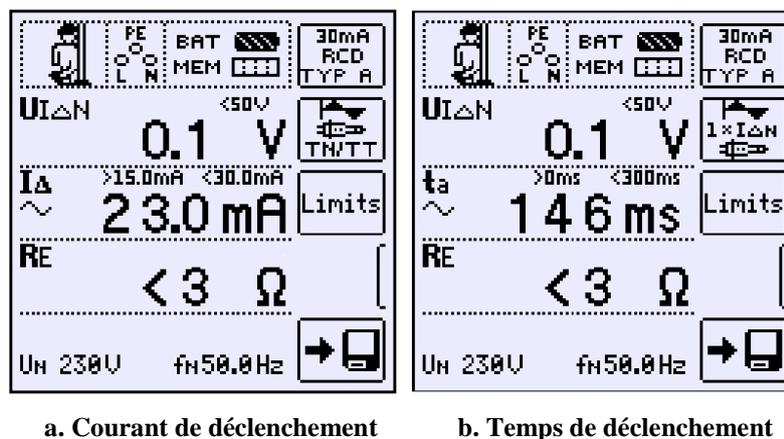


Figure 11 : Résultats pour les tests sur la première phase du AFDD C16 Eaton.

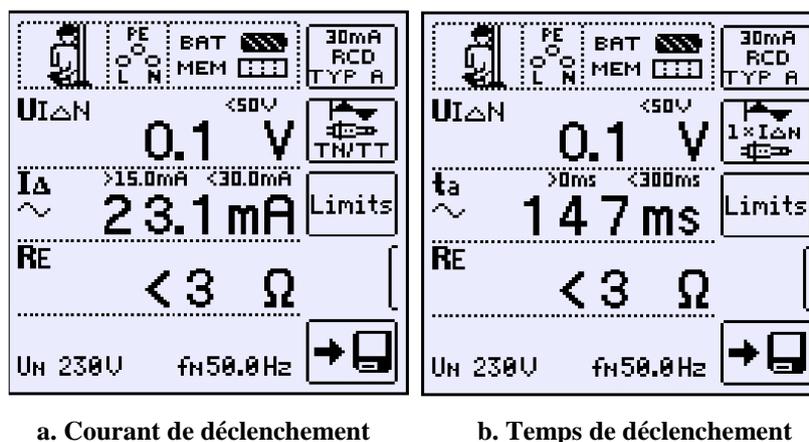


Figure 12: Résultats pour les tests sur la deuxième phase du AFDD C16 Eaton.

Dans les Figures 13.a., 13.b., 14.a. et 14.b., on observe les résultats des tests pour chacune des deux phases du dispositif AFDD B16 Schrack.

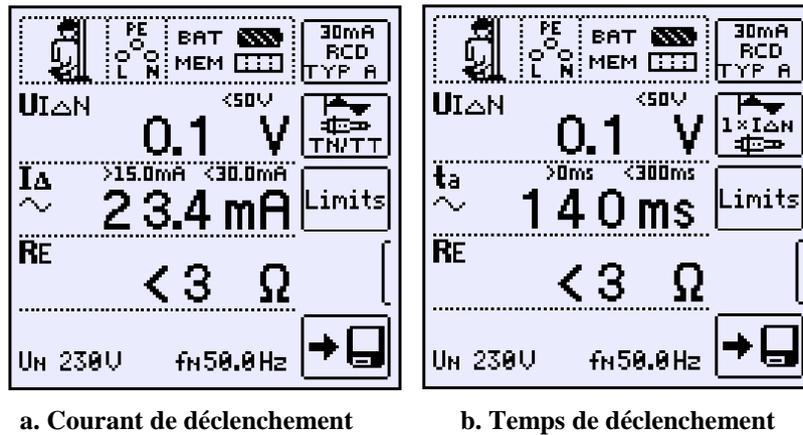


Figure 13: Résultats pour les tests sur la première phase du AFDD B16 Schrack.

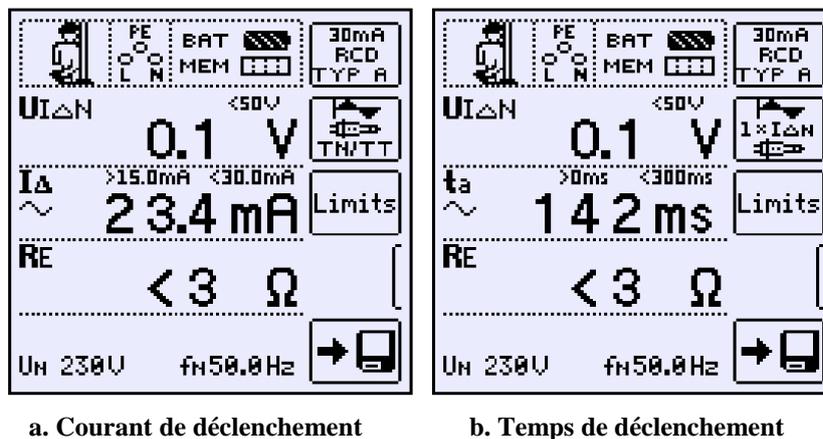


Figure 14: Résultats pour les tests sur la deuxième phase du AFDD B16 Schrack.

Dans les Figures 15.a., 15.b., 16.a. et 16.b. on observe les résultats des tests pour chacune des deux phases du dispositif AFDD C16 Schrack.

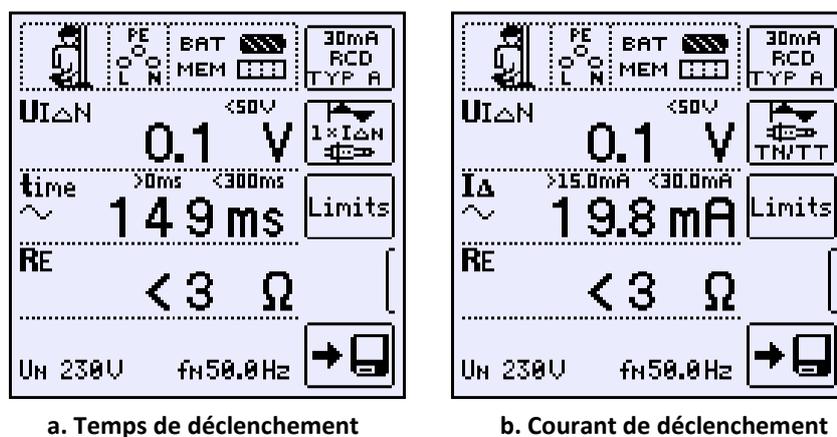
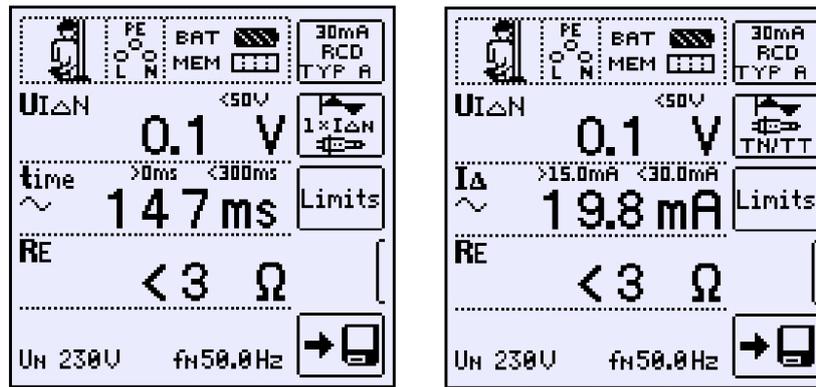


Figure 15: Résultats pour les tests sur la première phase du AFDD C16 Schrack.



a. Temps de déclenchement

b. Courant de déclenchement

Figure 16: Résultats pour les tests sur la deuxième phase du AFDD C16 Schrack.

Les Figures 11 à 16 présentent les résultats pour tester la fonction de protection différentielle. Sur les écrans de mesure il y a les paramètres suivants : l'état de la batterie et de la mémoire de l'appareil, le type de dispositif différentiel testé, le type de connexion de l'installation, le nombre de tests à effectuer, la tension monophasée et la fréquence du réseau, ainsi que le courant et le temps de déconnexion en cas de défaut de type différentiel. On observe que tous les dispositifs testés sont conformes du point de vue du courant différentiel et du temps de déconnexion. Le dispositif B16 a un temps de déconnexion légèrement plus faible que les dispositifs C16. Concernant le courant différentiel de déconnexion le dispositif C16 de Schrack a montré des valeurs plus basses que les 2 autres appareils.

L'impédance maximale de la boucle de mise à la terre est inférieure à 3Ω pour tous les tests, sans avoir une valeur précise.

Le comportement des trois dispositifs testés pour détecter l'arc électrique avec le schéma de la Figure 9 a été absolument identique. Dans chaque cas la déconnexion a été effectuée pour tous les défauts d'arc simulés. Le test effectué en appuyant le bouton *S4* de la Figure 9 met en évidence la protection différentielle décrite plus haut. Les autres tests, pour la détection de l'arc électrique en série, l'arc électrique en parallèle et la surtension supérieure à 270 V nécessitent un certain temps avant la déconnexion. Les codes d'erreur indiqués lors de la prochaine mise en fonction étaient ceux spécifiés par le fabricant uniquement dans le cas de la production de l'arc électrique en série et de l'arc électrique en parallèle. Pour le test de la surtension, malgré le fait que le déclenchement se passe exactement quand la valeur indiquée par le voltmètre de la Figure 9 arrive à 270V, le code n'est pas celui de 4 allumages successifs du clignotant jaune, à trois reprises, mais celui d'un fonctionnement incorrect du dispositif (clignotant rouge, puis jaune, puis vert lors de la suivante mise en fonction).

Conclusion

Les dispositifs AFDD offrent une protection accrue contre les incendies et l'évitement des chocs électriques en intégrant 3 fonctionnalités: MCB – contre les surintensités du courant, RCCB – contre le courant résiduel et AFDD – contre les arcs électriques. Les tests de chaque fonctionnalité nécessitent un circuit différent qui doit prendre en considération une tension suffisante pour l'alimentation des circuits électroniques à l'intérieur des dispositifs.

Les dispositifs AFDD testés ont déconnectés pour chaque défaut simulé. Les caractéristiques de protection étaient dans les limites indiquées par le fabricant. Le dispositif AFDD B16 a indiqué les temps de déconnexion inférieurs aux dispositifs AFDD C16. Pour la protection différentielle on a vérifié la conformité avec le standard IEN / EN61009-1.

Concernant la détection de l'arc électrique le code d'erreur indiqué pour une surtension de 270 V ne correspond pas à celui indiqué par les 2 fabricants. Par contre, la déconnexion à la détection de l'arc électrique a lieu dans les meilleures conditions pour tous les tests effectués.

Remerciements

Les auteurs souhaitent remercier l'équipe de Schrack Technik Romania, pour la fourniture des équipements utilisés dans les tests de laboratoire.

Références

- [1] D. Lee, A. Trotta, W. King, (2000), « *New Technology for Preventing Residential Electrical Fires: Arc-Fault Circuit Interrupters (AFCIs)* », Fire Technology, Vol.36, No. 3. p. 145-162.
Doi: 10.1023/A:101541072
- [2] Eaton, « *AFDD+Range brochure* », <http://promotions.eaton.com/content/dam/beacon/residential/UK/home/for-installers/fire-safety-season/circuit-protection/brochure/AFDD+-range-brochure.pdf>
- [3] Siemens, « *5SM6 AFD Unit* »
https://cache.industry.siemens.com/dl/files/288/109482288/att_866515/v1/5SM6_AFDUnit_primer_EN_201601250858227805.pdf
- [4] ABB, « *Detailed information for: DS-ARCI B10 A30* »
<https://new.abb.com/products/2CSA255103R1105/ds-arc1-b10-a30-arc-fault-detection-device-integrated-with-rcbo>
- [5] Schrack Technik, « *AFDD Arc fault detection device, series LISA, 6kA, Type A* »
<https://www.schrack.com/shop/installation-mounting/fire-protection-systems-afdd-arc-fault-detection-device/afdd-arc-fault-detection-device/afdd-arc-fault-detection-device-series-lisa-6ka-type-a.html>
- [6] B. Hnatiuc, (2016), « *Aparate Electrice. Îndrumar de Aplicații* », ISBN 978-606-681-077-7, Editura Nautica Constanța, 202 p.