

EVOLUȚIA DISPOZITIVELOR DE PROTECȚIE MONOFAZATE DE LA SIGURANȚE FUZIBILE LA AFDD

Prof.dr.ing. Bogdan HNATIUC¹, Ing. Fănel TURCU¹

¹ Universitatea Maritimă din Constanța, Constanța, România

REZUMAT. Primele elemente de protecție folosite în circuitele electrice încă din secolul 19 pentru instalațiile de iluminat au fost siguranțele fuzibile. Îmbunătățirea construcției și funcționării acestora a condus la conceperea și realizarea unor siguranțe automate care permit protecția diferențiată la supracurenți. Asigurarea unor caracteristici de protecție dependente și respectiv independente a fost implementată în dispozitive de tip MCB. Odată cu introducerea protecției diferențiale au apărut dispozitivele de tip RCD a căror funcționalitate a fost inclusă cu timpul în dispozitivele MCB. Evitarea producerii unor incendii pornind de la detectarea de către dispozitivele de protecție a arcului electric încă din faza sa incipientă a fost posibilă odată cu introducerea dispozitivelor AFDD. Aceste dispozitive integrează toate funcțiile celorlalte echipamente mai sus menționate. Studiul de față arată evoluția caracteristicilor de protecție asigurate de dispozitivele monofazate având curenți până la 40 A în raport cu structura lor internă, precum și schemele necesare pentru testarea lor.

Cuvinte cheie: MCB, RCD, AFDD, arc electric serie, arc electric paralel.

ABSTRACT. The first protection elements used in electrical circuits since the 19th century for lighting installations were the fuses. The improvement of their construction and operation has led to the design and implementation of automatic fuses that allow differentiated protection to overcurrents. Providing of dependent and independent protection characteristics has been implemented in MCB type devices. With the introduction of differential protection, RCD-type devices have appeared. Their functionality has been included over time in MCB devices. Avoiding the occurrence of fires starting from the detection by the protective devices of the electric arc from its earliest phase was possible with the introduction of AFDD devices. These devices integrate all the functions of the other equipment mentioned above. The present study shows the evolution of the protection characteristics provided by the single-phase devices having currents up to 40 A related to their internal structure, as well as the schemes required for their testing.

Keywords: MCB, RCD, AFDD, serial electric arc, parallel electric arc.

1. INTRODUCERE

Aparatele de protecție au fost introduse în schemele electrice pentru protejarea consumatorilor contra unor supracurenți sau a unor supratensiuni, Primele astfel de aparate au fost siguranțele fuzibile, Fig. 1 [1]. Breguet a propus utilizarea conductorilor cu secțiune mai mică pentru protejarea stațiilor de telegraf de descărcările atmosferice. Ca materiale conductoare fuzibile pentru început s-au folosit plumbul, staniul, cuprul, aluminiul.

În Fig.1, care reprezintă construcția dispozitivului din brevetul de siguranță fuzibilă propus de Thomas Edison în anul 1890, elementele componente sunt următoarele: *a* – fantă longitudinală sau canelură, *b* – bandă de folie metalică, *c* – înveliș longitudinal, *d* – capac metalic, *e* – arcuri sau piese terminale de fixare, *f* – firele de conexiune la circuitul electric, *g* – cilindru continuu din material izolant, *h* – fantă prin cilindru,

i – flanșe. Reperele *g* și *h* se pot observa doar din proiecția laterală în plan vertical a dispozitivului.

Siguranțele fuzibile reprezintă dispozitive de protecție ce întrerup circuitul în care sunt conectate, atunci când intensitatea curentului electric depășește o valoare limită pentru un timp dat. Întreruperea circuitului are loc prin topirea unuia sau a mai multor elemente fuzibile.

În timp siguranțele fuzibile au fost înlocuite cu siguranțe automate. În cazul producerii unui defect de tip supracurent, reconectarea nu mai presupune înlocuirea siguranțelor, ci rearmarea lor prin simpla apăsare a unui buton. În raport cu domeniul de curent deservit, siguranțele pot fi de 2 tipuri, [2]:

- *g*, numite și siguranțe de uz general;
- *a*, numite și siguranțe asociate, ce pot întrerupe în condiții predeterminate toate valorile de curent pornind de la un multiplu al curentului nominal și până la capacitatea lor nominală de repere.

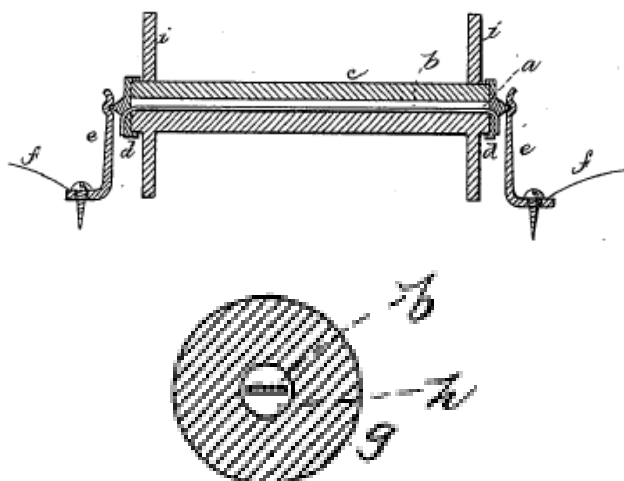


Fig. 1. Primele construcții de siguranțe fuzibile.

Miniîntreruptoarele (MCB = miniature circuit breakers) sunt echivalente siguranțelor automate. Ele sunt similare din punct de vedere al caracteristicilor de protecție asigurate, precum și a valorilor curenților nominali. Diferențele între MCB și siguranțe sunt următoarele, [3]:

- MCB clasice sunt dispozitive electromagnetice care realizează deconectarea pe baza unei forțe electromagnetice dezvoltate de către o bobină;

- MCB-urile sunt mai sensibile la curenții de defect și au o durată de viață mai mare decât siguranțele; pe de altă parte ele au prețuri mai ridicate decât siguranțele;

- MCB permit observarea mai ușoară a stării conectat sau deconectat prin observarea poziției comutatorului;

- MCB sunt compacte, permițând ascunderea firelor și a punctelor de conexiune; în același timp permit stingerea arcului electric în camere de stingere, în raport cu mediul de tip Silica, deci în condiții superioare calitativ;

- MCB permite punerea facilă sub tensiune după producerea unui defect, fără a fi necesară înlocuirea vreunei componente, precum în cazul siguranțelor fuzibile.

După reglementarea protecției consumatorilor și în general a rețelelor de alimentare, soluția care a fost adoptată pentru evitarea electrocutării, mai întâi în instalațiile electrice casnice, iar apoi și în cele industriale se referă la montarea în tablourile electrice de distribuție a unor aparate / dispozitive de protecție diferențială de tip RCCB, RCD, RCBO, [4]. Câteva din tipurile de accidente ce pot conduce la electrocutare, prin atingerea accidentală a fazei, sunt:

- un copil nesupravegheat care introduce un obiect conductor în priză;

- un adult ce atinge din greșeală conductorul neizolat la schimbarea unui corp de iluminat,

- înlocuirea unei prize sau a unui distribuitor defect;

- folosirea unei mașini de spălat cu legătură de împământare defectuoasă;

- folosirea unui fier de călcat cu cordonul de alimentare îmbătrânit din cauza căldurii.

Evitarea apariției acestor accidente se poate face prin utilizarea unor aparate de protecție diferențială, ce detectează curenții electrici de valoare mică care nu trec prin conductoare – numiți curenți diferențiali reziduali (de exemplu curentul care trece prin corpul omului în cazul electrocutării) și întrerup automat alimentarea cu energie într-o astfel de situație.

Pragul de curent periculos pentru organismul uman este de 30 mA, iar multe dispozitive de protecție diferențială sunt reglate la această valoare a curentului diferențial rezidual și vor scoate de sub tensiune instalația electrică la atingerea acestui prag. O soluție ieftină pentru asigurarea protecției diferențiale este utilizarea unui singur întreruptor automat de protecție diferențială (ID) pentru mai multe plecări de același tip, ca de exemplu prizele.

Curentul de comandă, notat în general cu I_{AN} , poate avea următoarele valori standardizate: 10, 30, 100, 300, 500 mA, iar timpul de deconectare este instantaneu sau selectiv, cu întâzieri de 40 - 300 ms. Funcționarea temporizată în intervalul 10 – 50 ms a acestor dispozitive de tip G sau S permite trecerea undelor de impuls și evitarea declanșărilor nedorite. Valoarea prag de 10 mA în cazul dispozitivelor de curent diferențial se poate adopta doar în cazuri speciale, existând riscul unor declanșări false produse de unele interferențe electromagnetice. Curentul de comandă de 30 mA corespunde unui curent nominal până la 32 A, cel de 100 mA corespunde unui curent nominal de peste 32 A ș.a.m.d.

Pentru curenți nominali de sute de amperi, sau în cazul unei scheme multietaj cu asigurarea selectivității, curentul de comandă cel mai aproape de linia de alimentare (cel din amonte) poate avea valori mai mari de 300 sau chiar de 500 mA.

În conformitate cu norma CEI EN 61008 și 61009, întreruptoarele diferențiale se clasifică după forma unde de curent în următoarele tipuri:

- AC (declanșare doar pentru curent diferențial alternativ, de formă sinusoidală, care poate avea o creștere bruscă sau lentă),

- A (declanșare pentru curent alternativ, sinusoidal, și/sau pulsatoriu cu componentă continuă de 0.006 A, cu sau fără control al unghiului de fază, independent de polaritate, cu curenți care se aplică brusc sau au o creștere lentă),

- S (pentru curent alternativ și/sau pulsatoriu având componentă continuă cu întâzriere în funcționare, pentru asigurarea selectivității ca întreruptoare diferențiale generale, deci ca dispozitiv de comandă și protecție a instalației electrice),

- B (declanșare asigurată de curent alternativ sinusoidal, curent continuu pulsatoriu cu componentă

de minim 6 mA și curent continuu care poate proveni de la diferite tipuri de redresoare).

Se utilizează și dispozitive diferențiale adaptabile la întreruptoare automate. Se recomandă ca instalarea dispozitivelor diferențiale de protecție să se facă în tabloul electric sau în apropierea acestuia. Se admite montarea dispozitivelor diferențiale de protecție de mare sensibilitate și în corpul prizelor electrice, dacă acestea sunt destinate prin construcție acestui scop.

Selectivitatea dispozitivelor diferențiale de protecție se realizează pe verticală (în cascadă), în trei trepte ca în Fig. 2. Q1 reprezintă un întreruptor diferențial de tip S. Pentru asigurarea selectivității verticale trebuie îndeplinite condiții de forma:

$$\frac{I_{\Delta n1}}{I_{\Delta n2}} \geq 2 \quad (\text{Eq.1}).$$

unde $I_{\Delta n1}$ este curentul diferențial de funcționare (declanșare) al dispozitivului de protecție din amonte, iar $I_{\Delta n2}$ - idem, al dispozitivului de protecție din aval, în A.

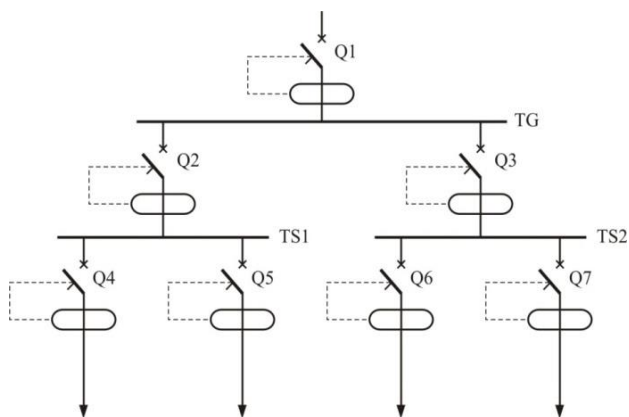


Fig. 2. Schemă de distribuție radială, cu evidențierea protecțiilor diferențiale înseriate.

Timpul de declanșare al dispozitivului din amonte trebuie să fie mai mare decât timpul de declanșare al dispozitivului din aval.

Funcționalitatea protecției diferențiale a fost introdusă în dispozitivele moderne de tip MCB, precum și în construcția întreruptoarelor automate de putere.

S-a constatat că din cele peste 2 milioane de incendii raportate anual în Europa aproximativ 80% apar în incinte private și restul de 20% în zone comerciale. Dintre cele corespunzătoare incintelor private, 33% sunt datorate defectelor instalațiilor electrice, [5].

Dispozitivele AFDD de ultimă generație includ toate funcțiile celorlalte dispozitive, oferind în plus și protecția contra incendiilor prin detectarea producerii arcului electric în instalațiile electrice. Ele au momentan doar construcții monofazate, cu valori ale curentului nominal de maxim 40 A. La modul general dispozitivele AFDD pot detecta arcul electric produs în serie sau în paralel cu sarcina, între fază și con-

ductorul neutru sau între fază și conductorul de împământare, Fig. 3.

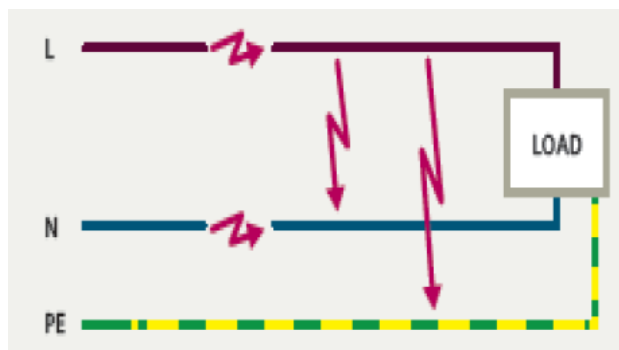


Fig. 3. Tipurile de arc electric detectate de AFDD

Principalele cauze ale producerii arcului electric sunt: izolația deteriorată a cablurilor (datorită cuielor, șuruburilor sau diferitelor perforări), îndoirea cablurilor cu o rază de îndoire prea strânsă, apărând astfel un pericol de rupere, ruperea cablurilor prinse în uși sau ferestre deschise la închiderea acestora, deteriorarea sau îmbătrânirea izolației datorită influențelor de mediu precum radiații UV, temperatură, umiditate, daune ale izolației produse de rozătoare, contacte realizate imperfect (borne neștrânse) sau conductori deteriorați de dispozitivele de fixare cu gheare.

În vederea detectării timpurii a producerii arcului electric într-o instalație electrică, pentru deconectarea alimentării electrice și evitarea producerii unor incendii au fost realizate dispozitivele de detectare a producerii unui defect de tip arc electric (AFDD – arc fault device detection). Spre deosebire de protecțiile asigurate de dispozitivele anterioare, pentru care valorile deservite de curent sunt mai mari decât cele nominale impuse, în cazul producerii unui arc electric în serie cu sarcina într-un circuit monofazat curentul din circuit va scăde. La producerea unui arc electric în paralel cu sarcina circuitului, de obicei curentul total va crește ca urmare a producerii acestui tip de defect.

2. PRINCIPII CONSTRUCTIVE ȘI CARACTERISTICI DE PROTECȚIE

În Fig.4 se poate observa construcția unei siguranțe fuzibile moderne.

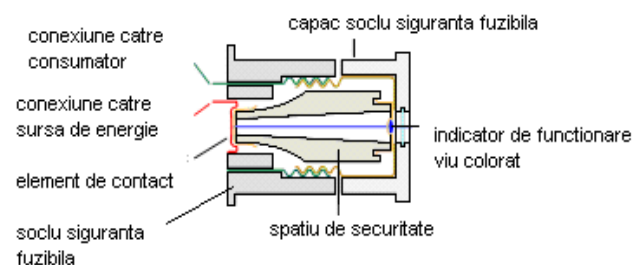


Fig. 4. Componentele unei siguranțe fuzibile.

EVOLUȚIA DISPOZITIVELOR DE PROTECȚIE MONOFAZATE DE LA SIGURANȚE FUZIBILE LA AFDD

În cazul în care siguranța fuzibilă prezintă în plus față de elementele din Fig. 4 și un material de umplură, atunci acesta este de tipul materialelor granuloase (Ex.: Nisipul de cuarț) care pe lângă deconectare asigură și o limitare a curentului de defect.

Caracteristicile de protecție indicând timpul de deconectare în raport cu valorile curentului de defect asigurate de siguranțele fuzibile pot fi: lente - 2, rapide - 1, lent-rapide - 3 și ultrarapide - 4, Fig. 5.

Elementele componente din construcția unui întreruptor automat pot fi observate în Fig. 6, iar caracteristicile de protecție asigurate de aceste dispozitive conform standard IEC 60898 sunt prezentate în Fig. 7.

În cazul ultimilor generații de întreruptoare automate, ce pot asigura până la 7 tipuri diferite de protecții, au fost introduse unități electronice de declanșare (electronic trigger units) care reprezintă practic niște minicalculatoare cu procesor digital de semnal capabile să monitorizeze și comande funcționarea întregii scheme electrice în care sunt introduse. În cazul existenței acestor unități întreruptoarele nu mai conțin relee cu lamele bimetal sau relee termomagnetice.

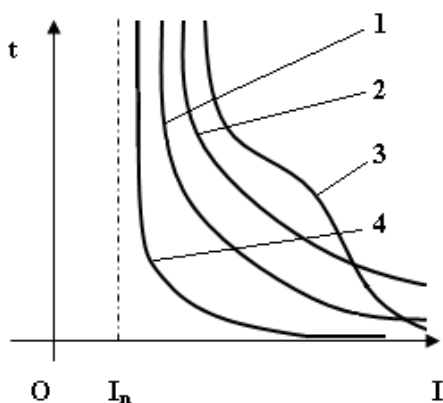


Fig. 5. Caracteristici de protecție ale siguranțelor fuzibile.

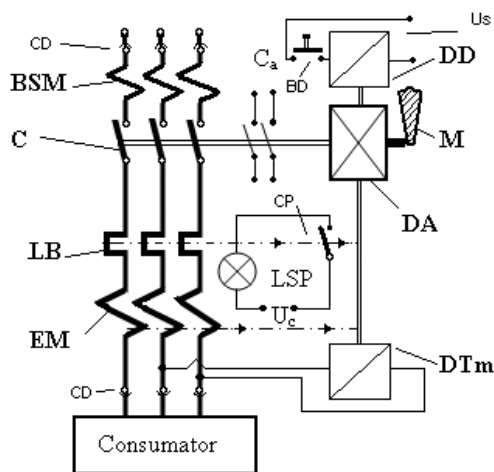


Fig. 6. Elementele componente ale unui întreruptor automat de joasă tensiune.

În Fig. 6 semnificația notațiilor este următoarea: CD – contacte debroșabile, BSM - bobine de suflaj magnetic pentru stingerea arcului, C – contacte principale, Ca – contacte auxiliare, BD – buton de deschidere, M – manetă pentru acționare manuală, DD – declanșator de deconectare electromagnetice, DA – dispozitiv de acționare, LSP – lampă de semnalizare a protecției, EM – elemente de protecție electromagnetice, LB – lamelă bimetal, Ue – tensiune de comandă, Ua – tensiune de alimentare a bobinei, DTm – declanșator de tensiune minimă, CP – contactul protecției.

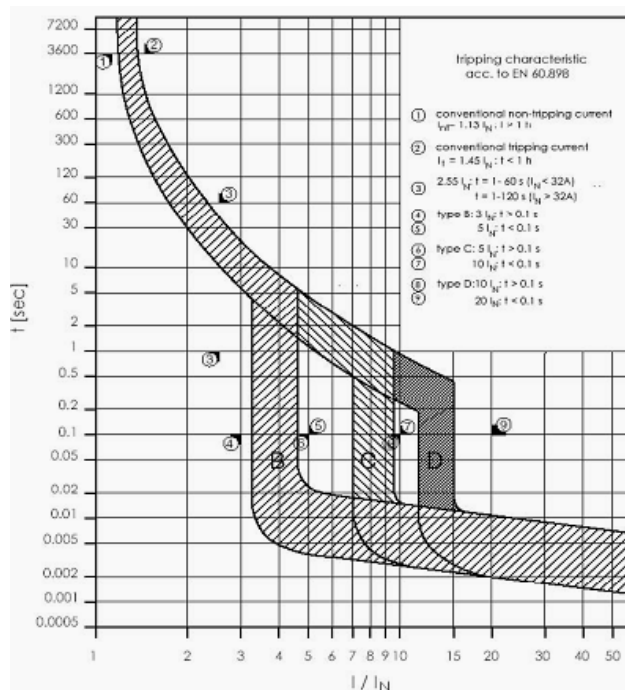


Fig. 7. Caracteristici de protecție ale MCB conform standard IEC 60898.

În Fig.7 sunt prezentate caracteristicile de protecție de tip B, C și D ale întreruptoarelor automate. Pragurile de la 1 la 9 de pe figură depind de valorile curentului nominal, axa absciselor fiind exprimată în valori raportate.

Releu diferențial de curent, numit și releu de curent rezidual, RCD, detectează curentul care se scurge la pământ și folosește acest curent pentru a acționa mecanismul de deconectare a circuitului defect. Principiul de funcționare al unui releu diferențial se bazează pe trecerea conductoarelor de linie și neutru printr-un miez magnetic toroidal, vezi Fig.8. Un curent de sarcină normală va produce în miezul magnetic fluxuri magnetice egale dar de sensuri contrare. Dacă există o punere la pământ, curentul prin conductorul de linie este mai mare decât cel ce se întoarce prin conductorul neutru și va produce un flux magnetic mai mare. Apare astfel un flux rezultat care induce un curent într-o înfășurare montată pe același miez magnetic și se obține o

comandă de acționare asupra mecanismului de deconectare a circuitului.

Dispozitivele de detecție a arcului electric, AFDD funcționează pe seama verificării formei de undă sinusoidale a curentului. Dacă pe forma de undă apar vârfurile specifice amorsării și stingerii succesive pe fiecare semiperioadă a unui arc electric, atunci microcontrollerul va emite un semnal de declanșare care va acționa un solenoid ce deschide mecanismul de comutare. Structura internă a acestuia este prezentată în Fig. 9.

Detectarea defectelor de arc serie reprezintă aproximativ 80% din calculul efectuat de microcontroler. Restul de 20% sunt preluate de detectarea arcurilor paralele. Această detecție, vezi Fig. 10, se bazează pe examinarea fronturilor abrupte ale RSSI. RSSI este indicația de intrare a semnalului primit sau unitatea care măsoară puterea conținută în semnalul primit și reprezintă puterea arcului la o frecvență și lățime de bandă definite. Derivarea $dRSSI / dt$ este utilizată pentru a calcula un semnal de referință care este "încărcat" de $|dRSSI / dt|$ când frontul se află în zona de trecere prin zero a curentului I . Trebuie să fie îndeplinite două condiții pentru ca sistemul să interpreteze un semnal ca fiind un arc și, în consecință, ca integratorul de erori să fie incrementat:

- semnal de referință > valoarea limită $G4$
- RSSI atinge cel puțin pragul $G2$.

Imediat ce integratorul de erori depășește valoarea limită $G5$, microcontrolerul va trimite comanda de declanșare către dispozitivul de comutare.

Pentru a preveni opririle nedorite, trebuie făcută o distincție între defectul de arc electric pe de o parte și semnalele de la sarcini precum motoarele cu perii și transformatoare electrice pe de altă parte, care, în funcționare normală, produc un nivel ridicat al zgomotului HF. Acest lucru se realizează prin faptul că integratorul de eroare este resetat imediat la zero atunci când apar anumite evenimente "arc-atipice". O caracteristică a unui astfel de eveniment este de exemplu faptul că RSSI prezintă întreruperi în curba semnalului.

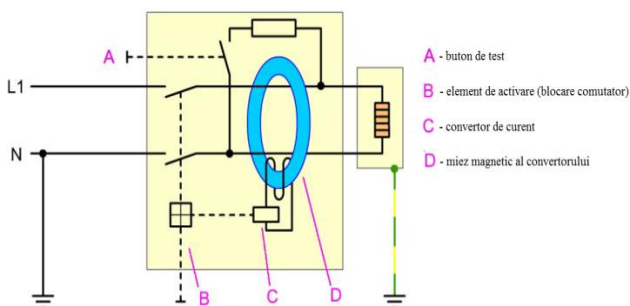


Fig. 8. Principiul de funcționare al unui releu de curent diferențial.

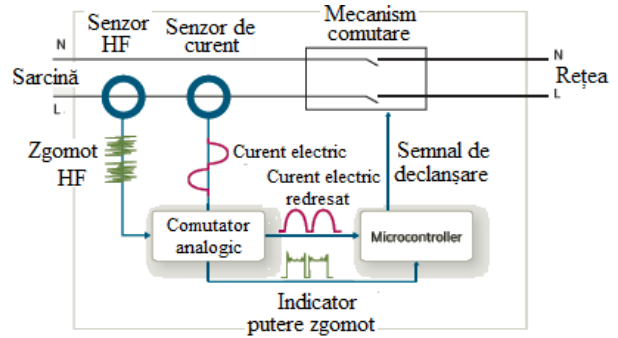


Fig. 9. Structura internă a unui dispozitiv de tip AFDD.

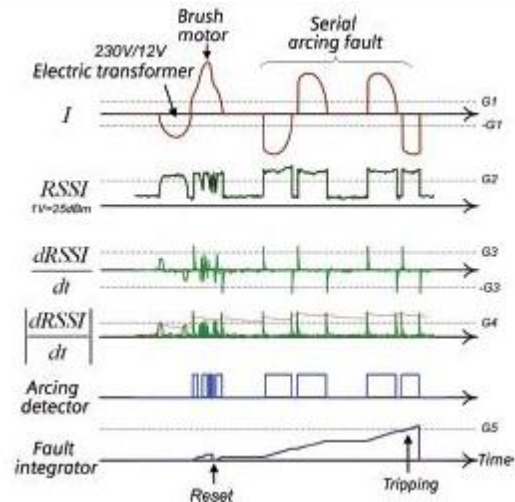


Fig. 10. Procesarea semnalelor pentru detecția defectelor de tip arc serie.

Implementarea algoritmului de detecție și deconectare a unui arc electric serie sau paralel modifică caracteristicile de protecție din Fig.7.

3. TESTAREA UNUI DISPOZITIV DE TIP AFDD

Pentru testarea tuturor funcționalităților unui AFDD a fost realizată o trusă de test având schema electrică prezentată în Fig. 11. Dispozitivul testat este notat cu $F1$.

Trusa conține releele K_1, K_2, K_3 , contactorul K_4 , rezistențele de putere R_1 și R_2 , condensatorul C_1 , butoanele de comandă S_1, S_2, S_3, S_4 , motorul monofazat M și un transformator de tensiune ridicător monofazat 230 V / 400 V.

Simularea unui arc electric paralel se realizează prin apăsarea butonului $S1$. Sarcina circuitului este alcătuită din condensatorul C_1 și rezistența R_1 , iar arcul electric se produce între terminalele 8 – 11 al releului $K2$.

Simularea unui arc electric în paralel se realizează prin apăsarea butonului S_2 . Sarcina circuitului este rezistența R_1 , iar arcul electric se produce între terminalele 8 – 11 al releului $K2$.

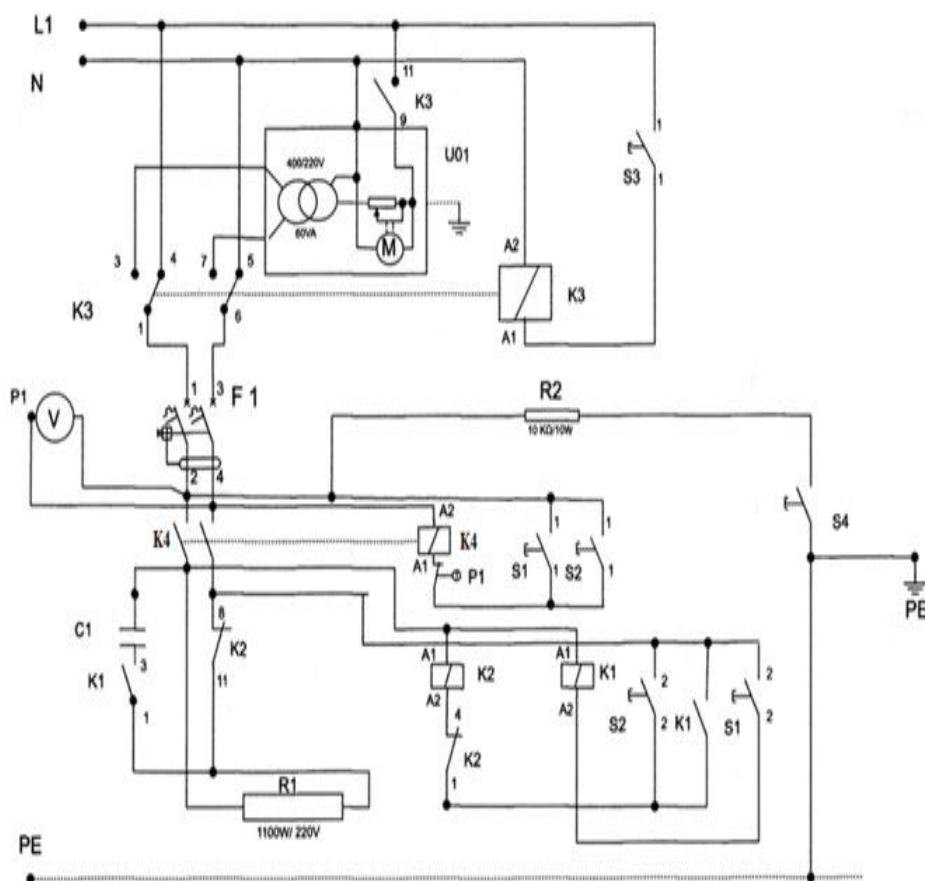


Fig. 11. Structura unei truse de test pentru AFDD.

La apăsarea butonului S_3 se alimentează bobina lui K_3 , se închide contactul corespunzător și se alimentează motorul M care începe să se deplaseze odată cu cursorul în sensul creșterii tensiunii primare. Testul la supratensiune al AFDD necesită trecerea prin secundarul transformatorului ridicător a unui curent de minim 1 A, care să fie capabil să acționeze solenoidul din interiorul AFDD.

La apăsarea butonului S_4 se produce un defect de curent diferențial prin stabilirea unui curent între faza L_1 și împământarea PE . Acest curent trebuie să declanșeze deschiderea dispozitivului F_1 , iar la punerea ulterioară în funcțiune a acestuia trebuie să indice codul de eroare corespunzător.

4. CONCLUZII

Evoluția aparatelor de protecție monofazate a condus la integrarea mai multor funcționalități într-un dispozitiv de tip AFDD.

În cazul producerii unui arc electric în serie cu sarcina unui circuit monofazat, defectul este cel mai dificil de detectat datorită scăderii curentului electric. Acest lucru se explică prin faptul că rezistența arcului electric este mai mare decât a cablului sau contactului ce produce acel arc, în condiții nominale de funcționare.

Modificarea caracteristicilor de protecție ale AFDD are loc în sensul că la valori mici ale curentului electric din circuit, apropiate de curentul nominal, timpii de deconectare vor fi de cel puțin 3 ordine de mărime mai mici la producerea unui arc electric serie.

Codurile de eroare indicate de AFDD ca urmare a fiecărui tip de defect detectat diferă la diferiți producători de astfel de echipamente.

Trusa realizată în laborator pentru testarea AFDD necesită verificarea stării contactelor electrice ale releului K_2 după fiecare declanșare de tip arc electric serie sau arc electric paralel, cu ajutorul unui miliohmetru.

BIBLIOGRAFIE

- [1] T. A. Edison, Fuse Block, Patent No. US438305A, October 14, 1890
- [2] https://ro.wikipedia.org/wiki/Siguranță_fuzibilă
- [3] E. Hnatiuc, B. Hnatiuc, Aparate electrice, Editura Tehnopress, 2011, ISBN 978-973-702-863-1
- [4] B. Hnatiuc, Aparate electrice: îndrumar de aplicații, Editura Nautica Constanța, ISBN 606 – 681 – 077 – 4, 2016
- [5] https://cache.industry.siemens.com/dl/files/288/109482288/att_870494/v1/5SM6-AFD-units---Primer_4882_201603081324574123.pdf
- [6] B. Hnatiuc, M. Dordescu, Tests de laboratoire pour les dispositifs AFDD, Journal International de Technologie, de l'Innovation, de la Physique, de l'Energie et de l'Environnement, ISSN: 2428-8500, vol. 5, n°2, 1, 2019, DOI : <http://dx.doi.org/10.18145/jitipee.v5i2.218>