

LUCRAREA NR. 2

DETERMINAREA EXPERIMENTALA A CARACTERISTICII DE PROTECTIE TIMP-CURRENT PENTRU O SIGURANȚĂ FUZIBILĂ

2.1. Parametrii și caracteristicile siguranțelor fuzibile

Siguranțele sunt echipamente care asigură protecția instalațiilor împotriva efectelor termice ale supracurenților (curenți de suprasarcină și de scurtcircuit); dacă siguranțele funcționează cu efect de limitare, se obține protecția și împotriva efectelor electrodinamice ale curenților de scurtcircuit. Funcționarea unei siguranțe fuzibile constă în întreruperea circuitului ca urmare a topirii elementelor fuzibile calibrate în acest scop, atunci când curentul care le parcurge are intensități ce depășesc o anumită valoare, pe o durată determinată.

Principalele repere ale unei siguranțe fuzibile, figura 2.1, sunt:

- soclul, care reprezintă partea fixă a siguranței, conținând contactele fixe 1, prevăzute cu bornele de conexiuni 2, amplasate pe piesa electroizolantă 3;
- elementul înlocuitor 4 care, înglobând elementul fuzibil, poate fi înlocuit după funcționarea siguranței și înainte de repunerea ei în funcțiune;
- elementul fuzibil 5, constituit din una sau mai multe benzi calibrate, având rolul de a se topi la funcționarea siguranței;
- materialul de umplutura 6 (nisip de cuarț).

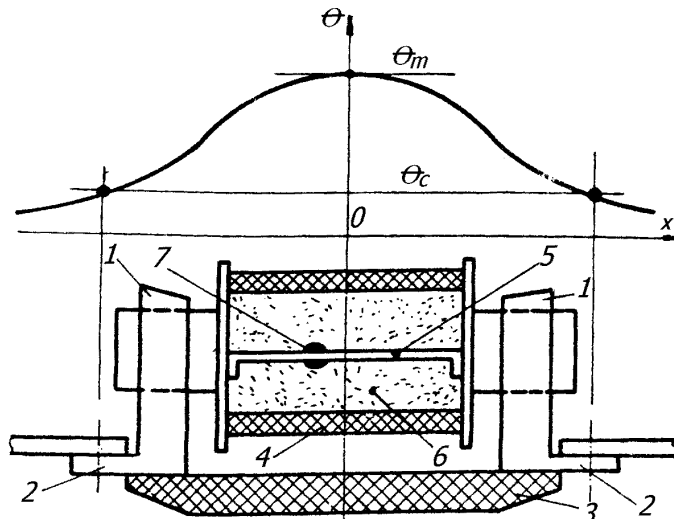


Fig. 2.1: Distribuția supraîncălzirii în regim permanent.

Funcționarea în regim nominal a unei siguranțe fuzibile este caracterizată prin curentul nominal de intensitate I_n sub acțiunea căruia supraîncălzirile de lucru, θ_c , ale contactelor, figura 2.1, nu trebuie să depășească valorile admisibile precizate în norme. Prin aceasta se asigură, pe durata oricărui regim normal de funcționare, limitarea fluxului termic transmis prin conducție spre calea de curent, evitându-se funcționarea întregului echipament la temperaturi superioare celor admisibile.

Funcționarea la suprasarcină a siguranțelor fuzibile are loc prin topirea elementului fuzibil, iar la unele variante constructive, pe baza efectului metalurgic.

În ultimul caz, figura 2.1, pe elementul fuzibil 5 (realizat în mod obișnuit din cupru) se fixează o anumită cantitate de material eutectic 7 (aliaj 62% Sn, 38% Pb), având temperatura de

topire mai mică decât cea a fuzibilului. La încălzirea benzii parcursă de curent, eutecticul ia temperatura acesteia, până la atingerea temperaturii proprii de topire; în continuare are loc o reacție de dizolvare a materialului eutectic topit, urmată de inițierea arcului electric de deconectare.

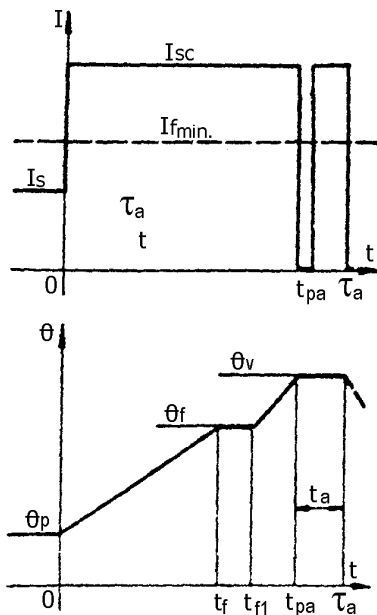


Fig. 2.2. Evoluția temperaturii firului fuzibil la apariția unui supracurent.

Funcționarea la suprasarcină pe baza efectului metalurgic se produce la temperatura de topire a eutecticului, astfel încât fluxul termic de transmisie prin conducție a căldurii spre contacte și caile de curent este limitat.

Un regim critic de funcționare a unei siguranțe fuzibile corespunde curentului minim de fuziune, având intensitatea $I_{fmin} > I_n$ sub acțiunea căruia durata de întrerupere a circuitului este teoretic infinită.

Intensitatea I_{fmin} a curentului minim de fuziune corespunzător unei singure benzi fuzibile (unui fir fuzibil) se determină din condiția ca punctul de topire θ_f [$^{\circ}\text{C}$] (al elementului fuzibil sau al elementului eutectic) să fie atins pentru $t \rightarrow \infty$, deci în regim permanent de încălzire. În aceste condiții, potrivit relației (2.1), se obține:

$$I_{fmin} = \sqrt{\frac{\alpha_t l_p s (\theta_f - \theta_a)}{\rho_0 k_p (1 + \alpha_R \theta_f)}}, \quad (2.1)$$

unde: k_p reprezintă coeficientul pierderilor suplimentare;

α_t [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$] - transmisivitatea termică globală;

s [m^2], l_p [m] - suprafața secțiunii transversale a elementului fuzibil, respectiv lungimea perimetrului acestei secțiuni;

θ_a [$^{\circ}\text{C}$] - temperatura mediului ambiant;

ρ_0 [$\Omega \cdot \text{m}$] - rezistivitatea la 0°C al materialului fuzibil;

α_R [$^{\circ}\text{C}^{-1}$] - coeficientul termic al rezistivității.

Sub acțiunea unui supracurent de intensitate $I_{sc} > I_{fmin}$ care apare în momentul $t = 0$, figura 2.2, temperatura elementului fuzibil crește de la valoarea θ_p corespunzătoare curentului de sarcină, de intensitate $I_s < I_{fmin}$, la valoarea θ_f , corespunzătoare punctului de topire.

Pe durata $t_f \leq t \leq t_{fl}$ are loc topirea, apoi temperatura fazei lichide crește până la valoarea θ_v , corespunzătoare punctului de vaporizare a fuzibilului.

În momentul t_{pa} al vaporizării, conducția se întrerupe și sub acțiunea supratensiunilor de comutație, în siguranță se amorsează arcul electric de deconectare. Durata de ardere a acestuia, $t_a = t_{pa} - t_f$, depinde de tipul dispozitivului de stingere cu care este prevăzută siguranța.

Corespunzător etapelor de funcționare, drept parametri ai unei siguranțe fuzibile se definesc următoarele durate:

- **durata de prearc** (de fuziune) t_{pa} , ca fiind timpul înregistrat între momentul apariției unui curent capabil să topească elementul fuzibil și momentul amorsării arcului electric;
- **durata arcului electric**, t_a măsurată din momentul amorsării acestuia și până la stingerea sa definitivă;
- **durata de întrerupere** a circuitului (de funcționare), t_a , reprezentând suma duratelor de arc și prearc.

Caracteristica de protecție timp-curent, reprezentând variația timpului de funcționare a unei siguranțe fuzibile în funcție de supracurent, se poate exprima în două variante: caracteristica de topire, $t_{pa}(I^*)$, respectiv caracteristica de întrerupere, $t_a(I^*)$, unde s-a notat :

$$I_* = \frac{I_{sc}}{I_{f \min}} > 1, \quad (2.2)$$

$I_{f \min}$ - intensitatea supracurentului (curent de suprasarcină sau de scurtcircuit);

I_{sc} - intensitatea curentului minim de fuziune;

t_{pa} , τ_a - duratele de prearc, respectiv de întrerupere.

Deoarece durata de ardere a arcului electric este de circa $5 \cdot 10^{-3}$ s, în zona curenților de suprasarcină caracteristicile $t_{pa}(I_*)$, $\tau_a(I_*)$ practic se suprapun.

După caracteristicile timp-curent, figura 2.3, siguranțele fuzibile pot fi: rapide (curba 1), inerte (curba 2), inert-rapide (curba 3) și ultra-rapide (curba 4).

Variantele moderne de siguranțe fuzibile funcționează la scurtcircuit cu efect de limitare, durata de întrerupere fiind mai mică de 0,01 s. Oscilogramele funcționării unei siguranțe fuzibile cu efect de limitare sunt prezentate în figura 2.4, unde s-a notat:

i_{kp} - curentul prezumat de scurtcircuit (acesta ar parcurge calea de curent dacă siguranța nu ar funcționa);

i_{ps} - curentul prezumat de soc;

i - intensitatea curentului care parcurge siguranța și instalația protejată;

i_{pt} , i_{lt} - intensitățile curenților prezumat tăiat, respectiv limitat-tăiat;

u - tensiunea la bornele siguranței.

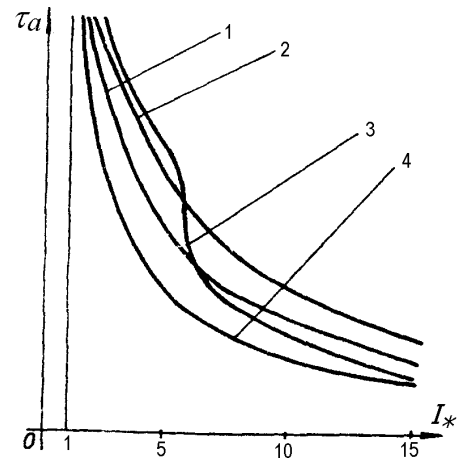


Fig. 2.3: Caracteristici de protecție timp-curent.

Pentru aceste siguranțe prezintă interes cunoașterea caracteristicilor amplitudinii curentului tăiat, figura 2.5, care stabilesc dependența între valoarea intensității i_{lt} a curentului limitat tăiat și valoarea efectivă, I_{kp} , a intensității curentului prezumat de scurtcircuit.

Pe baza acestor parametri se definește capacitatea nominală de rupere a unei siguranțe fuzibile, ca fiind intensitatea curentului prezumat tăiat pe care aceasta este capabilă să-l întrerupă sub tensiune tranzitorie de restabilire specificată în condiții prescrise de funcționare.

Prin limitarea curentului de șoc i_k , figura 2.4, siguranțele fuzibile cu efect de limitare asigură protecția instalațiilor și împotriva efectelor electrodinamice ale curenților de scurtcircuit.

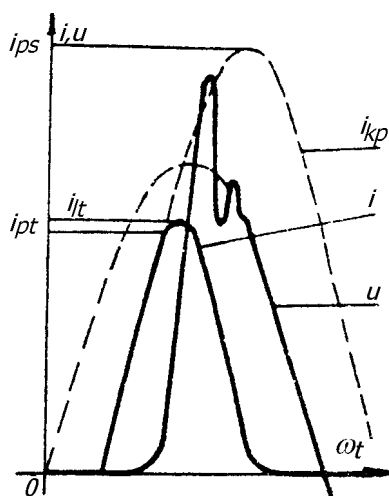


Fig. 2.4: Curent limită tăiat.

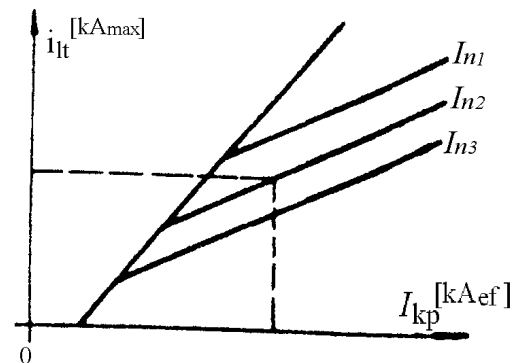


Fig. 2.5: Caracteristica amplitudinii curentului tăiat.

2.2. Construcția și funcționarea siguranțelor fuzibile

În instalațiile de joasă tensiune se folosesc următoarele tipuri de siguranțe fuzibile:

- cu mare putere de rupere (MPR) de uz industrial, având intensitatea curentului nominal de $100 \div 1000$ A și capacitatea nominală de rupere la scurtcircuit mai mare de 50 kA;
- cu filet, pentru uz industrial și casnic, având curenți nominali până la 100 A și capacitatea nominală de rupere la scurtcircuit de până la 33 kA;
- miniatura, cu intensitatea curentului nominal de până la 10 A și a curentului de rupere de maximum 2 kA.

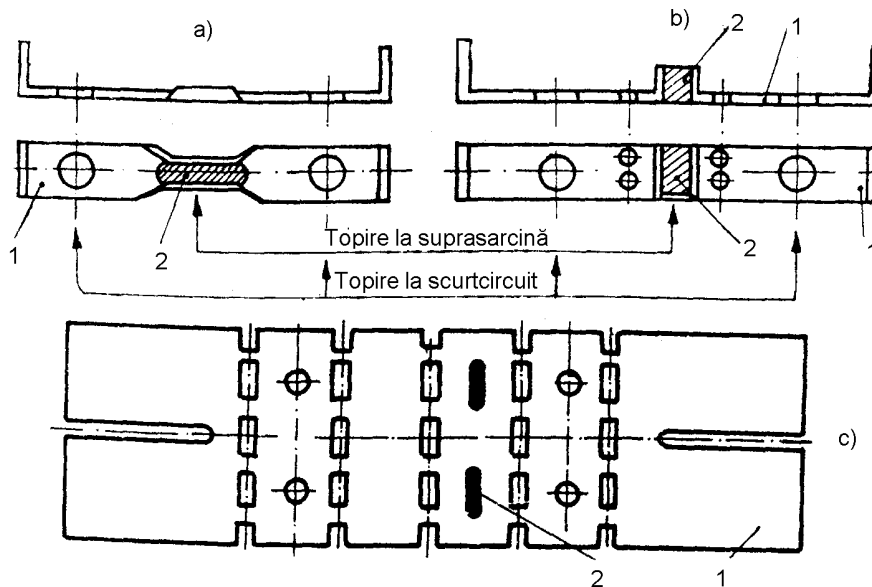


Fig. 2.6: Elemente fuzibile ale unei siguranțe fuzibile tip MPR.

Construcția unei siguranțe de tip MPR este dată în figura 2.1; în figura 2.6 este prezentată construcția unei benzi metalice din componența elementului fuzibil.

Funcționarea la scurtcircuit are loc prin topirea benzilor fuzibile 1 în dreptul perforațiilor, protecția la suprasarcină obținându-se pe baza efectului metalurgic, produs ca urmare a topirii metalului eutectic 2.

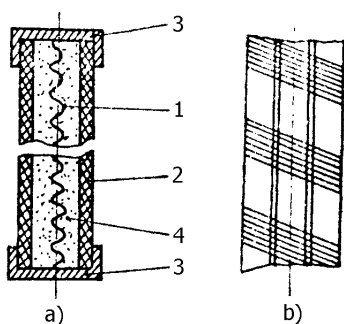


Fig. 2.7: Elemente fuzibile de medie tensiune.

Pentru instalații cu tensiuni nominale mai mari de 1 kV, la noi în țară se construiesc și se utilizează siguranțe fuzibile de medie tensiune, cu material de umplutură. Construcția elementului înlocuitor al unei astfel de siguranțe este prezentată în figura 2.7a, unde s-a notat: 1-element fuzibil, 2- cilindru de porțelan, 3- capace metalice de etanșare și cu rol de contacte electrice, 4- material de umplutură (nisip de cuarț). Elementele fuzibile pot fi dispuse liber, figura 2.7a sau, dacă au diametre de valori mici, bobinate pe carcase electroizolante și termorigide, figura 2.7b.

Pentru instalațiile de înalta tensiune sunt cunoscute de asemenea /1/ variante constructive cu autosuflaj de gaze, cu alungire mecanică a arcului electric etc.

Sub acțiunea curenților de suprasarcină, elementul fuzibil al unei siguranțe se încălzește într-un interval de timp relativ lung, încât distribuția $\vartheta(x)$ a supratemperaturii are alura din figura 2.1. Topirea la suprasarcină se produce fie în punctul corespunzător supratemperaturii maxime, ϑ_m , fie la locul de amplasare a materialului eutectic 7.

Sub acțiunea curenților de scurtcircuit, încălzirea elementului fuzibil se consideră adiabatică, încât integrala $\int_0^t I^2 dt$, se poate exprima sub forma :

$$\int_0^{t_{pa}} i_k^2(t) dt = s^2 K \quad (2.3)$$

unde: $i(t)$ este intensitatea curentului de scurtcircuit;

s – suprafața secțiunii transversale a elementului fuzibil, iar

K – o constantă de material ($K=11,72 \cdot 10^{16} \text{ A}^2\text{s/m}^4$ pentru cupru și $K=8 \cdot 10^{16} \text{ A}^2\text{s/m}^4$ pentru argint).

Pentru domeniul curenților de scurtcircuit în care siguranța funcționează fără efect de limitare, valoarea integralei din relația (2.3) se poate calcula prin metoda curentului echivalent de scurtcircuit, I_{sc} ; astfel se poate scrie:

$$\int_0^{t_{pa}} i_k^2(t) dt = I_{sc}^2 (m+n) \cdot t_{pa} \quad (2.4)$$

I_{sc} fiind valoarea efectivă a intensității curentului de scurtcircuit simetric inițial, iar m și n coeficienții de corecție.

Dacă pe durata de prearc valoarea efectivă a intensității supracurentului este constantă, I_{sc} , relația (2.3) devine de forma:

$$I_{sc}^2 t_{pa} = s^2 k \quad (2.5)$$

de unde, ținând seama de (2.2), se obține:

$$t_{pa} = \frac{s^2 k}{I_{sc}^2 I_{f \min}^2} \quad (2.6)$$

2.3. Programul lucrării

2.3.1. Determinarea experimentală a caracteristicii de topire, $t_{pa}(I_{sc})$, pentru siguranța fuzibilă cu filet

Încercările experimentale se efectuează cu ajutorul montajului având schema electrică reprezentată în figura 2.8.

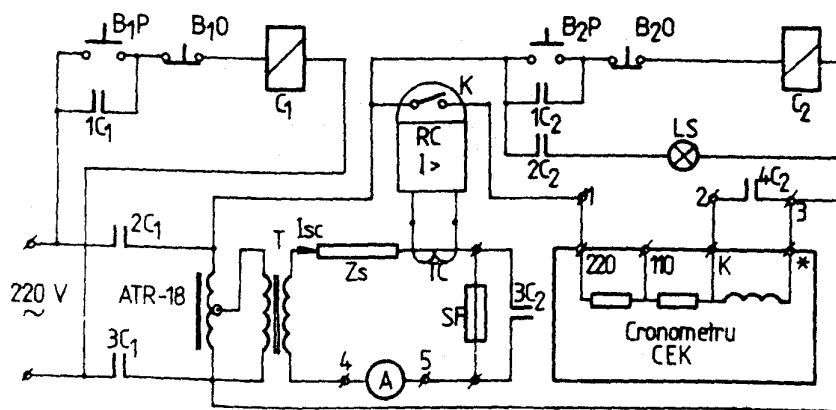


Fig. 2.8: Schema electrică a montajului pentru studiul siguranțelor fuzibile.

Pentru siguranța fuzibilă cu filet se confecționează zece elemente înlocuitoare, fiecare cu elementul fuzibil constituit dintr-un fir de cupru, al cărui diametru d_0 se măsoară cu micrometrul.

Cu relația (2.1) se calculează intensitatea I_{\min} a curentului minim de fuziune, considerând pentru fuzibilul funcționând în aer $\alpha = 150 \div 250 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$, $/2/$.

Durata de prearc se măsoară cu ajutorul cronometrului electric CEK, pentru zece valori ale intensității $I_{sc} > I_{f \min}$ curentului prin siguranță; în funcție de intensitatea I_{sc} a curentului, între

bornele 4-5 se conectează un ampermetru de 100 A, respectiv de 20 A.

Pentru determinarea fiecărui punct de pe caracteristica timp-curent, se procedează astfel:

- se verifică aducerea la zero a autotransformatorului ATR-18;
- se conectează instalația la rețea, apăsând butonul B₁P;
- se acționează butonul B₁P și se reglează cu ajutorul autotransformatorului ATR-18 intensitatea curentului I_{sc} la valoarea dorită, apoi se apăsă butonul B₂O;
- se montează elementul înlocuitor (patronul fuzibil) în soclul siguranței SF;
- se aduce la zero indicația cronometrului CEK;
- se apăsă butonul B₁P, înregistrându-se durată de prearc, t_{pa} .

Datele obținute se trec în tabelul 2.1, pentru elemente fuzibile funcționând în aer, respectiv în nisip de cuarț.

Tabelul 2.1.

Siguranță fuzibilă cu filet, element fuzibil din cupru					
$d_c = 0,1 \text{ [mm]}, s = \text{---} \text{ [m}^2], l_p = \text{---} \text{ [m]},$ $\alpha_t = 200 \text{ [W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C]}, I_{f \min} = 8 \text{ [A]}, K = 11,72 \cdot 10^{16} \text{ [A}^2 \cdot \text{s/m}^4]$					
$I_{sc} \text{ [A]}$				
$I_* = \frac{I_{sc}}{I_{f \min}}$				
$t_{pa} \text{ [s]}$	Măsurat	Fuzibil în aer		
		Fuzibil în nisip		
	Calculat			

2.3.2. Verificarea prin calcul a caracteristicii de protecție

Cu ajutorul relației (2.6) se calculează valorile duratei de prearc corespunzătoare supracurenților la care s-au efectuat încercările experimentale în 2.1. Rezultatele obținute prin calcul se trec în tabelul 2.1, comparându-se cu valorile măsurate.

2.3.3. Studiul construcției siguranțelor fuzibile

Se studiază siguranțele fuzibile existente la lucrare, identificându-se și schițându-se elementele componente ale diferitelor variante constructive.

2.4. Conținutul referatului

- 1) Schema electrică a montajului utilizat pentru încercările experimentale;
- 2) Tabelul 2.1, cu datele prelucrate;
- 3) Trasate grafic caracteristicile de protecție $t_{pa}(I_*)$, determinate experimental pentru fuzibil funcționând în aer și nisip de cuarț, respectiv calculate;
- 4) Observații și concluzii privind construcția siguranțelor fuzibile studiate.

2.5. Bibliografie

- /1/ Baraboi A., Echipamente electrice, curs. Institutul Politehnic Iași, 1989, p.203-207.
 /2/ Barbu I., Siguranțe electrice de joasă tensiune. Ed Tehn., București, 1983.
 /3/ Gheorghiu Ioan, Popa Sorin Eugen, Puiu-Berizintu Mihai, "Echipamente electrice pentru centrale, stații și posturi de transformare", Ed. Tehnica-Info Chișinău, 2003.