

## APARATE ELECTRICE DE PROTECȚIE ÎN INSTALAȚII ELECTRICE DE JOASĂ TENSIUNE

### 1. Probleme generale:

Aparatele de protecție sunt destinate să asigure protecția elementelor de circuit împotriva suprasarcinilor, scurtcircuitelor sau a lipsei de tensiune. Această protecție evită suprasolicitățile de natură termică și electrodinamică.

Un element de circuit care trebuie protejat poate suporta, în condiții prescrise, un anumit interval de timp, o anumită supratemperatură, definită ca valoarea limită admisibilă. În circuitele electrice supratemperaturile fiind determinate de efectul termic al curentului, se definește caracteristica termică a obiectului protejat  $t=f(I)$  care reprezintă dependența dintre durata necesară ca obiectul să atingă temperatura limită admisibilă, datorită valorii suprasarcinii ( $I$ ).

Pentru aparatele de protecție se definește caracteristica de protecție (sau timp-curent, sau de acționare) care reprezintă dependența dintre timpul de acționare și valoarea curentului de suprasarcină  $t_a=f(I)$  (fig.8.1).

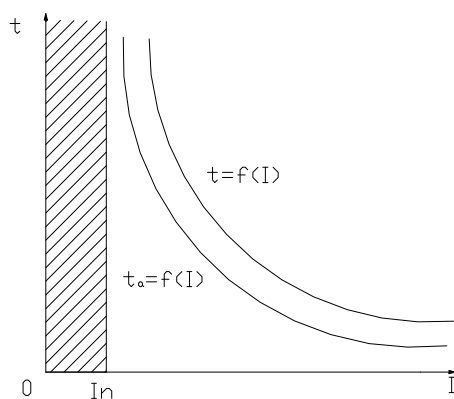


Fig. 8.1

Protecția este asigurată când caracteristica de protecție este situată sub caracteristica termică a obiectului protejat (fig. 8.1).

Pentru a satisface cerințele consumatorilor, aparatele de protecție pot avea caracteristici de diferite forme, uneori reglabile (fig. 8.2).

a) Caracteristica independentă, caracterizată prin aceea că pentru  $I \leq I_R$  (valoare reglată), timpul de acționare este infinit, iar pentru  $I > I_R$ , acesta este finit și constant; valorile  $I_R$  și  $t_a$  sunt reglabile.

b) Caracteristica dependentă, la care timpul de acționare este variabil în funcție de valoarea curentului.

c) Caracteristica limitat-dependentă, la care se disting două zone: I-dependentă; II-independentă.

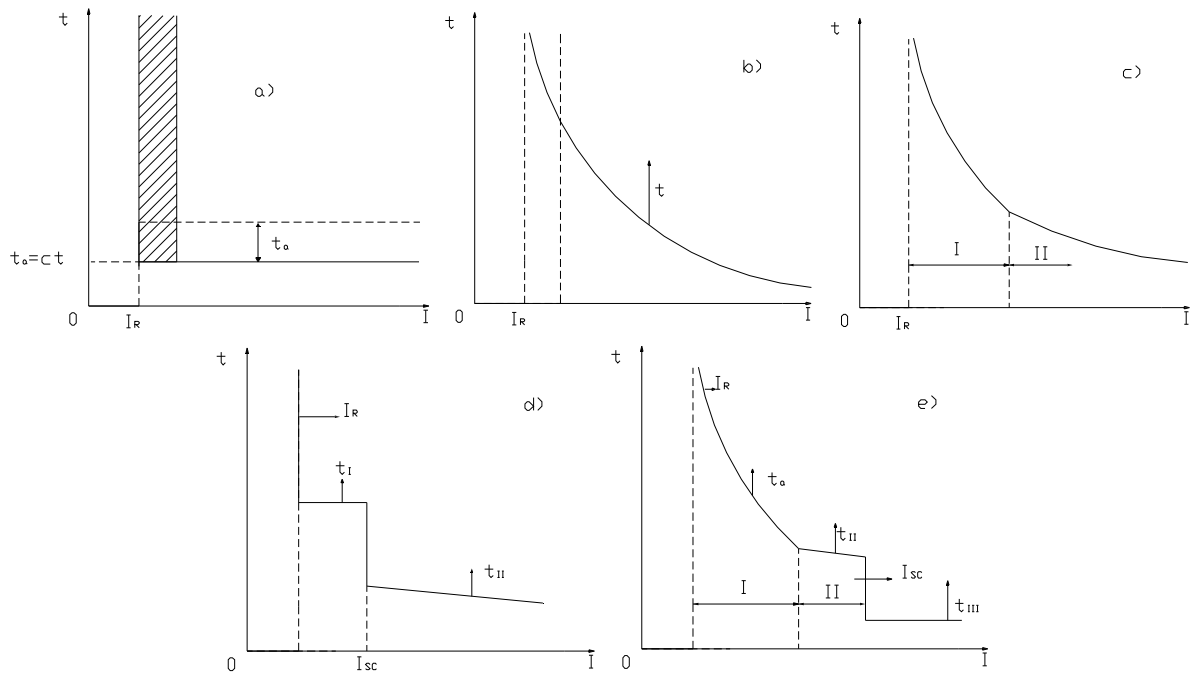


Fig. 8.2.

d) Caracteristica independentă, cu acționare instantanee, la care peste o anumită valoare a curentului acționarea se produce practic instantaneu. Pot fi obținute de asemenea, caracteristici independente în trepte.

e) Caracteristica limitat dependentă, cu acționare instantanee, care are trei zone: I-dependentă; II-independentă; III-instantanee.

Toate caracteristicile pot fi reglabile cu domeniul limitat de reglaj.

În cadrul lucrării vor fi prezentate siguranțele fuzibile, relele electrotermice cu bimetal și relele electromagnetice, ca principalele aparate de protecție în instalațiile electrice de joasă tensiune.

## 2. Siguranțele fuzibile:

Siguranța fuzibilă este un aparat de protecție împotriva supraindensităților, care cuprinde unul sau mai multe elemente fuzibile, și care se topesc la depășirea unei anumite valori a curentului într-un anumit timp. Altfel spus sunt “puncte slabe” înseriate în circuit care se distrug înainte ca elementele de circuit să fie afectate termic sau mecanic.

Dacă prin natura acțiunii ei, deconectarea circuitului se face automat, restabilirea circuitului (înlocuirea) se face manual. Caracteristica de protecție este nereglabilă.

Siguranțele se montează în circuitele în care: lipsesc aparatele de conectare automate cu protecție la suprasarcină, există aceste aparate dar nu au capacitatea de rupere necesară sau nu pot asigura protecția la scurtcircuitate.

Funcționarea siguranței cuprinde două regimuri (fig. 8.3):

- staționar ( $I < I_{\min_{topire}}$ ) în care fuzibilul se găsește în stare caldă la o temperatură ce depinde de valoarea curentului,  $\theta_n$  pentru  $I_n$ ;

- tranzitoriu, creat de supraincantați ( $I < I_{\min_{top}}$ ) unde  $I < I_{\min_{top}}$  reprezintă curentul minim la care fuzibilul nu se topește un timp practic infinit. Dacă se consideră că regimul de avarie se produce în momentul  $t_0$ , din acest moment are loc încălzirea adiabatică a fuzibilului până în momentul  $t_1$  când se atinge temperatura de topire. În intervalul ( $t_1-t_2$ ) se produce topirea, apoi încălzirea până la fuziune ( $t_2-t_3$ ) și apoi vaporizarea și inițierea arcului electric.

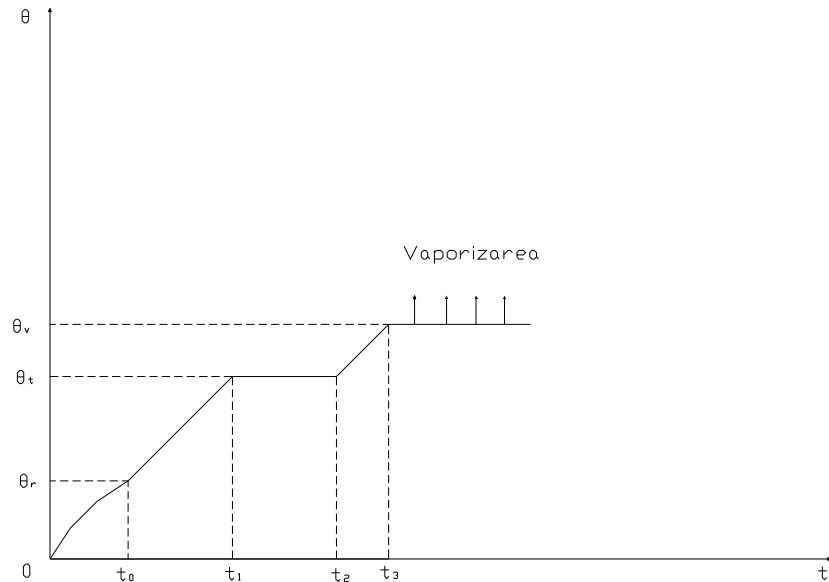


Fig.8.3.

### 2.1 Caracteristica de protecție:

Caracteristica de protecție este dependentă dar poate avea diferite forme (fig.8.4).

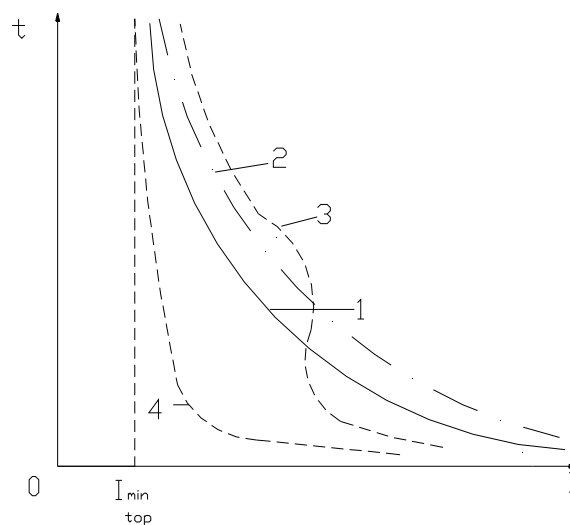


Fig.8.4

1) Caracteristica de protecție rapidă, pentru siguranțe cu fuzibile dintr-un singur metal (argint, cupru, zinc, etc); se recomandă pentru circuitele fără șocuri de sarcină (circuite de iluminat).

2) Caracteristica de protecție lentă, proprie siguranțelor cu efect metalurgic sau chimic și se folosesc în circuitele cu șocuri de sarcină (circuite de alimentare a motoarelor asincrone, transformatoarelor).

3) Caracteristica de protecție lent-rapidă, se realizează cu două elemente, unul pentru acțiune lentă și altul pentru acțiune rapidă, fiind utilă la protecția instalațiilor cu regim greu de pornire și deconectare rapidă la scurtcircuit.

4) Caracteristica de protecție ultrarapidă, care se utilizează la protecția receptoarelor cu capacitate termică redusă (diode redresoare, tiristoare).

Caracteristica de protecție lentă se obține astfel (fig.8.5):

- desprinderea mecanică a pârgheii  $p$ , care se produce la topirea unui material ușor fuzibil sub acțiunea unui resort  $r$ ;
- efect metalurgic, datorită unei bobite de aliaj eutectic care dizolvă după un timp elementul fuzibil, inițiind arcul electric;
- efect chimic, similar efectului metalurgic, dar la care distrugerea fuzibilului se produce ca urmare a acțiunii unei substanțe chimice încălzită peste o anumită temperatură.

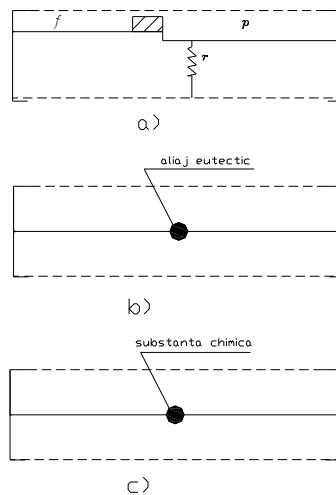
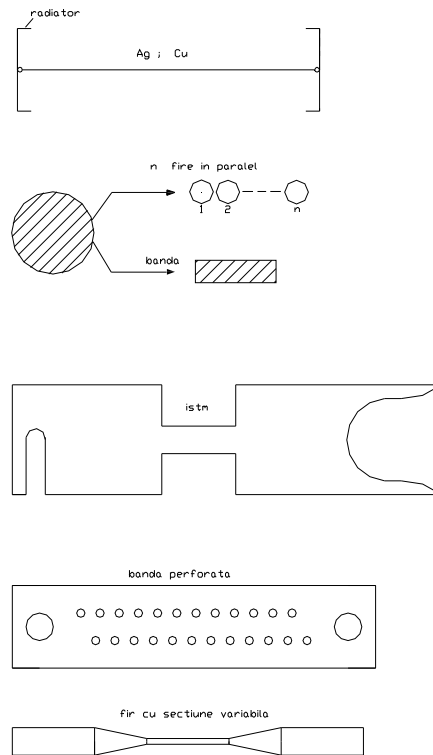


Fig.8.5.

Caracteristicile de protecție rapide se obțin prin (fig. 8.6):

- utilizarea de materiale cu conductivitate termică și electrică mare (Ag, Cu) care permit reducerea secțiunii fuzibilului;
- creșterea suprafeței de radiație termică prin folosirea mai multor fuzibile în paralel sau sub formă de bandă;
- crearea unui istm în vederea inițierii rapide a arcului electric;
- folosirea unei benzi perforate după anumite reguli;
- montarea unor fuzibile din fire cu secțiune variabilă.



**Fig. 8.6.**

### 3.Relee electrotermice cu bimetal:

Prin bimetal se înțelege un ansamblu din două lame metalice, de grosimi apropiate sau egale, cu coeficienți de dilatare diferiți sudate intim între ele (pentru a evita alunecarea dintre ele), care sub influența temperaturii poate efectua o deplasare limitată, dezvoltând și o anumită forță (fig.8.7.a).

Parametrii principali ai bimetalului sunt (fig. 8.7.b):

- săgeata  $S$ , care reprezintă deplasarea pe care o face capătul liber al bimetalului;
- forța  $F$ , pe care o dezvoltă bimetalul la capătul liber;
- curbura, considerată ca  $l/\rho$  unde  $\rho$  este raza cercului după care se face îndoirea bimetalului;
- sensibilitatea bimetalului, notată obișnuit cu  $\mu$ , se definește ca fiind curbura unui bimetal la care toate dimensiunile sunt egale cu unitatea, când variația temperaturii este de un grad.

Caracteristicile bimetalului sunt de forma  $y=f(x)$  unde:

$y$ -este unul din parametrii:  $l/\rho$ ;  $F$ ;  $\mu$ ;  $S$ .

$x$ -este timpul ( $t$ ), temperatura ( $\theta$ ), curentul de încălzire.

Obișnuit se consideră săgeata la forța nulă dezvoltată de bimetal și forța în cazul săgeții nule, deși practice pot fi întâlnite situații în care bimetalul are de învins o forță constantă, sau variind după o lege oarecare în funcție de săgeată.

Caracteristicile regimului nestaționar sunt cele de forma  $y=f(t)$ .

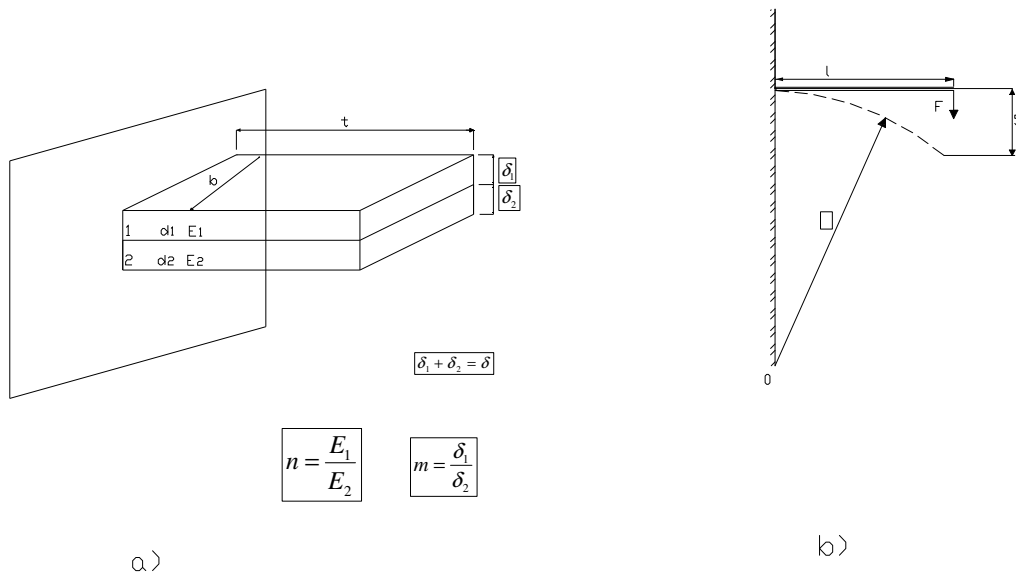


Fig. 8.7.

Parametrii bimetalelor depind de dimensiunile geometrice ale bimetaleului ( $b; \delta; l$ ), de proprietățile fizice ale metalelor folosite ( $\alpha, E, etc$ ) și de încălzire. Deci pentru un bimetal dat, parametrii depind practic numai de temperatură și se vor modifica în timp după curbe de aceeași alură cu caracteristica  $\theta = f(t)$ .

Conform ipotezei de mai sus (pentru un bimetal tip bară, cu secțiune dreptunghiulară încastrat la un capăt) caracteristica  $y=f(t)$ , fiind de forma  $y=k\theta$ , are alura unei exponențiale (fig.8.8.a).

O caracteristică importantă este cea de acționare  $t_a=f(I)$ , denumită și caracteristica de protecție, utilizată când bimetalul este folosit la protecție (fig.8.8.b).

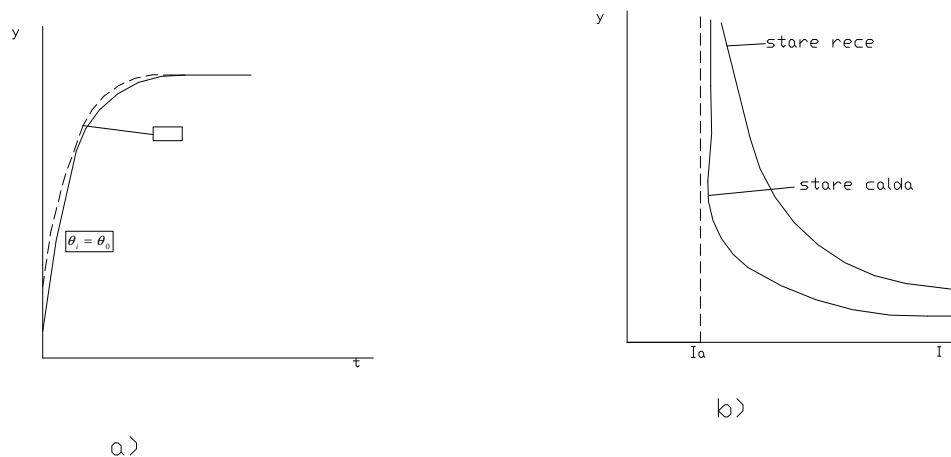


Fig. 8.8.

Deoarece funcționarea bimetaleului este influențată de starea termică inițială, deci de temperatura inițială, alura caracteristicilor este modificată (fig.8.8).

Folosite ca elemente de protecție, bimetalele sunt imperfecte. Comportarea lor este bună pentru protejarea obiectelor în regim permanent, dar este nesatisfăcătoare în regim periodic, intermitent sau de scurtă durată, deoarece costanta de timp a încălzirii obiectului protejat este diferită de cea similară a bimetalului. De aceea la receptori mari (motoare) protecția se completează cu termistori (capsule bimetale) care urmăresc fidel variațiile de temperatură.

Blocurile de bimetale, folosite în sistemele trifazate simetrice (motoare) pot fi construite să acționeze și la rămânerea în două faze numindu-se bimetale diferențiale.

Releele termice sunt aparate care la o variație continuă a mărimii de intrare, încălzirea realizează o variație prin salt a mărimii de ieșire (închiderea unui contact, acționarea unui mecanism de zăvorâre).

Dacă încălzirea este determinată de acțiunea curentului electric, relele se numesc electrotermice.

Caracteristica de protecție este dependentă, cu același aspect ca la siguranțele fuzibile.

#### 4. Relee electromagnetice:

Aceste rele au ca element sensibil un electromagnet (fig.8.9) (de curent continuu, alternativ, mono sau trifazat, temporizat sau nu). Se va obține caracteristica de releu dacă pe durata acționării forța de atracție devine mai mare decât cea rezistentă,  $F_a > F_R$ , pentru  $\delta = \delta_i \div \delta_c$  și  $F_a > F_R + F_r$  pentru  $\delta < \delta_c$ , unde:

$\delta_c$  – este întrefierul în momentul atingerii;

$\delta_i$  – este întrefierul inițial;

$\delta_{min} < \delta_c$  – întrefierul final.

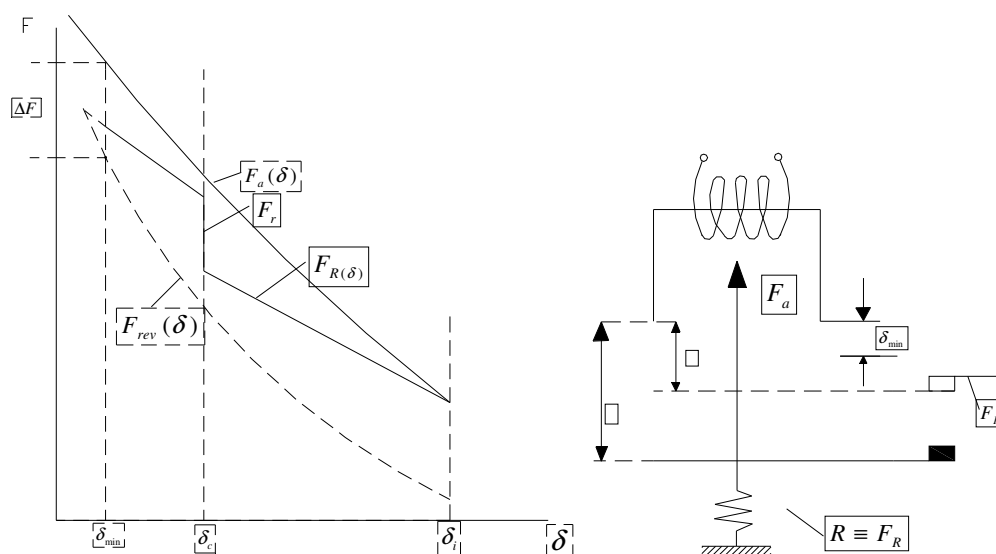


Fig. 8.9.

La revenire, forța de atracție a electromagnetului  $F_{rev}$  trebuie să fie mai mică decât forța rezistentă ( $F_{rev} < F_R + F_r$ ) pentru  $\delta < \delta_c$  și  $F_{rev} < F_R$  pentru  $\delta > \delta_c$ . Revenirea releului se va produce când forța de atracție  $F_a$ , corespunzătoare întrefierului  $\delta_{min}$  se va micșora cu  $\Delta F$ . Forțele de acționare respective de revenire sunt:

$$F_a = ki_a^2; \quad F_{rev} = ki_{rev}^2$$

Pentru a obține un timp de acționare cât mai mic, armătura mobilă trebuie să aibă o inerție mecanică minimă.

Se construiesc relee electromagnetice:

- de curent (maximale-RC);
- de tensiune (maximale sau minimale-RT);
- intermediare-RI;
- de semnalizare.

Releele intermediare au rolul de a multiplica numărul de contacte și puterea de rupere la contacte.

Releele de semnalizare au rolul de a indica o stare de funcționare la un moment dat, cu ajutorul unei clapete sau prin închiderea circuitului unei surse luminoase, fie acustic prin realizarea alimentării unei hupe.

Temporizarea la aceste relee se poate realiza cu: mecanism de ceasornic, pendul, amortizor (cu ulei, aer, etc).

### 5. Selectivitatea unui sistem de protecție:

Într-o schemă electrică pot exista mai multe elemente de protecție, înseriate:

- bimetale - pentru protecția de suprasarcini;
- relee electromagnetice - pentru protecție la scurtcircuit;
- siguranțe fuzibile - pentru scurtcircuite și suprasarcini.

Proprietatea unui sistem de protecție format din mai multe elemente înseriate de a funcționa într-o anumită ordine impusă se numește selectivitate.

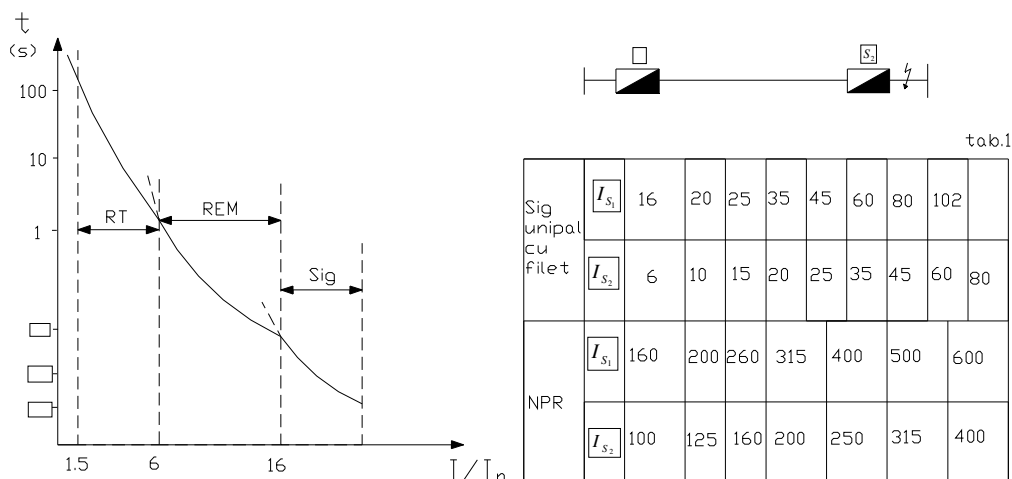


Fig. 8.10.



Pentru sistemul de protecție bimetal - releu electromagnetic - siguranța fuzibilă, pentru a asigura selectivitatea caracteristicile de protecție trebuie să fie ca în fig.8.10.

Pentru două elemente de protecție înseriate, selectivitatea este asigurată astfel:

- două siguranțe fuzibile  $S_1$  și  $S_2$  înseriate (fig.8.10) vor funcționa selectiv (adică se va distruge  $S_2$  mai repede) dacă între ele există o diferență de două trepte de curent pentru instalații la care  $I_k < 40I_n$ , sau de trei trepte dacă se depășește această valoare. Această condiție este necesară pentru siguranțele unipolare cu filet, pentru siguranțele MPR (cu mare putere de rupere). Condiția este (tab.1):

$$\frac{I_{nS_1}}{I_{nS_2}} = 1.6$$

- două siguranțe fuzibile înseriate, indiferent de tip, vor funcționa selectiv dacă între caracteristicile lor există  $\Delta t_{\min}$  indicat în figura 8.11.a;

- pentru o siguranță și un întrerupător (cu RT+REM), înseriate, selectivitatea este asigurată dacă între caracteristicile lor se respectă  $\Delta t_{\min}$  indicat în figura 8.11.b;

- pentru un întrerupător înseriat cu o siguranță fuzibilă poate apărea zona de neselectivitate dacă nu este asigurat  $\Delta t_{\min}$  (fig.8.11.c);

- pentru două întrerupătoare înseriate, selectivitatea se poate asigura numai pentru releele electrotermice (bimetale). Pentru releele electromagnetice care au timpul de acționare aproximativ același (50 mS) se apelează la temporizare în vederea asigurării selectivității (fig.8.11.d).

#### 6.Desfășurarea lucrării:

În timpul orelor de laborator se vor efectua încercări experimentale pentru trasarea caracteristicilor de protecție ale aparatelor de protecție și pentru verificarea selectivității. Pentru aceasta se utilizează bancul de probe din figura 8.12.a și 8.12.b.

Bancul de probe permite trasarea caracteristicilor timp-curent ale aparatelor de protecție, precum și studiul selectivității protecției aparatelor în instalațiile de joasă tensiune.

În figura 8.12.a și 8.12.b se prezintă schema de forță și respectiv de comandă și semnalizare a bancului de probe.

Pentru punerea în funcțiune a bancului de probe se procedează astfel:

- se verifică dacă ușa este închisă și se comută cheia de selecție (33) pe una din cele 9 poziții, corespunzător celor 9 măsurători posibile, permițând astfel alimentarea schemei de comandă și semnalizare.

- se apasă pe butonul de pornire  $b_4$  (20); contactorul  $C_{10}(20)$  anclanșează și se închide contactul  $C_{10}(1)$  și se alimentează schema de forță.

Pentru scurt timp se comută cheia de comandă a scurtcircuitorului și în primarul transformatorului  $TR_1$  (2) se stabilește valoarea tensiunii și curentului

reglat. Ulterior se deconectează scurtcircuitorul și se conectează unul dintre contactoarele  $C_1$ - $C_9$  corespunzător determinării alese prin apăsare pe butoanele de pornire ( $b_6$ - $b_{22}$ ) corespunzătoare. Lămpile de semnalizare  $h_3(21)$ ,  $h_5(24)$ .....  $h_{21}(46)$  indică starea normală (neanclășată) iar  $h_4(21)$ ,  $h_6(24)$ .....  $h_{22}(46)$  - starea anclășată a contactoarelor  $C_1$ - $C_9$ . Se vor citi indicațiile ampermetrului și voltmetrului precum și timpul de desfășurare a încercării. Pentru răcirea echipamentului de protecție se utilizează ventilatorul M (46) care se conectează prin butonul  $b_{12}$  (46).

Se vor efectua următoarele determinări experimentale:

- a) Trasarea caracteristicii timp-curent pentru siguranțe fuzibile cu  $I_{nf}$  10A. Se comută  $b_0(33)$  pe poziția 1 și apăsând pe  $b_6(23)$  anclanșează contactorul  $C_1$  care prin contactul  $C_1(5)$  aplică curentul de pe segmente.
- b) Studiul protecției la suprasarcină cu rele termice având  $I_{nRT}=4-6A$ . Se comută  $b_0(33)$  pe poziția 2n, se apasă  $b_8(25)$ , anclanșează  $C_2(25)$  și prin contactul  $C_2(6)$  se aplică curentul reglat pe releul termic.
- c) Studiul protecției la suprasarcină cu rele electromagnetice cu  $I_{nREM}$  50A. Similar se comută  $b_0(33)$  pe poziția 3 și apăsând  $b_{10}(27)$ , anclanșează  $C_3(27)$  și prin contactul  $C_3(7)$  se aplică curentul de suprasarcină. Domeniul de reglaj al releului electromagnetic este de  $(0.5-1) I_{nREM}$ .
- d) Studiul selectivității protecției între un rele termic  $I_{nRT}=5.3-8A$  și un rele electromagnetic  $I_{nREM}=25-50A$ . Se comută  $b_0(33)$  pe poziția 4, se apasă  $b_{12}(30)$ , anclanșează  $C_4(30)$  și prin contactul  $C_4(8)$  se aplică curentul reglat.
- e) Studiul selectivității protecției între două segmente fuzibile, de exemplu segmentul  $e_2$  cu  $I_{nf1}=16A$  și segmentul  $e_3$  cu  $I_{nf2}=4A$ . Se comută  $b_0(33)$  pe poziția 5 și apăsând butonul  $b_{14}(33)$  anclanșează  $C_5(33)$  și prin contactul  $C_5(9)$  se aplică curentul de suprasarcină.
- f) Studiul selectivității protecției dintre relele termice  $RT_3(10)$  și  $RT_4(11)$  și respectiv relele electromagnetice  $RC_{23}(10)$  și  $RC_{24}(11)$ . Se comută  $b_0(33)$  respectiv pe poziția 6 sau 7 și apăsând pe butoanele  $b_{16}(35)$  sau  $b_{18}(38)$ , anclanșează contactoarele  $C_6(35)$  respectiv  $C_7(38)$  și prin contactele  $C_6(10)$  și respectiv  $C_7(11)$  se aplică curentul reglat. Se vor testa la prima determinare un rele termic având  $I_{RT}=13-20A$  și un rele electromagnetic cu  $I_{REM}=25-50A$  iar la a doua determinare un rele termic cu  $I_{RT}=7.3-11A$  și respectiv un rele electromagnetic cu  $I_{REM}=10-20A$ .
- g) Studiul selectivității protecției între o siguranță fuzibilă cu  $I_{nf}=4A$ , un rele termic cu  $I_{nRT}=16-25A$  și un rele electromagnetic cu  $I_{REM}=25-50A$ . Se comută  $b_0(33)$  pe poziția 8 și apăsând butonul  $b_{20}(41)$ , anclanșează contactorul  $C_8$  (41) și prin contactul  $C_8(12)$  se aplică curentul (reglat) dorit. Se va constata distrugerea fuzibilului la 4A.
- h) Studiul selectivității protecției între un rele electromagnetic cu  $I_{REM}=5-10A$  și un rele termic cu  $I_{RT}=21-32A$  și o siguranță fuzibilă cu  $I_{nf}=25A$ . Se va constata că la un curent de 10A declanșează releul electromagnetic.

Toate determinările se vor efectua în stare rece și respectiv caldă.

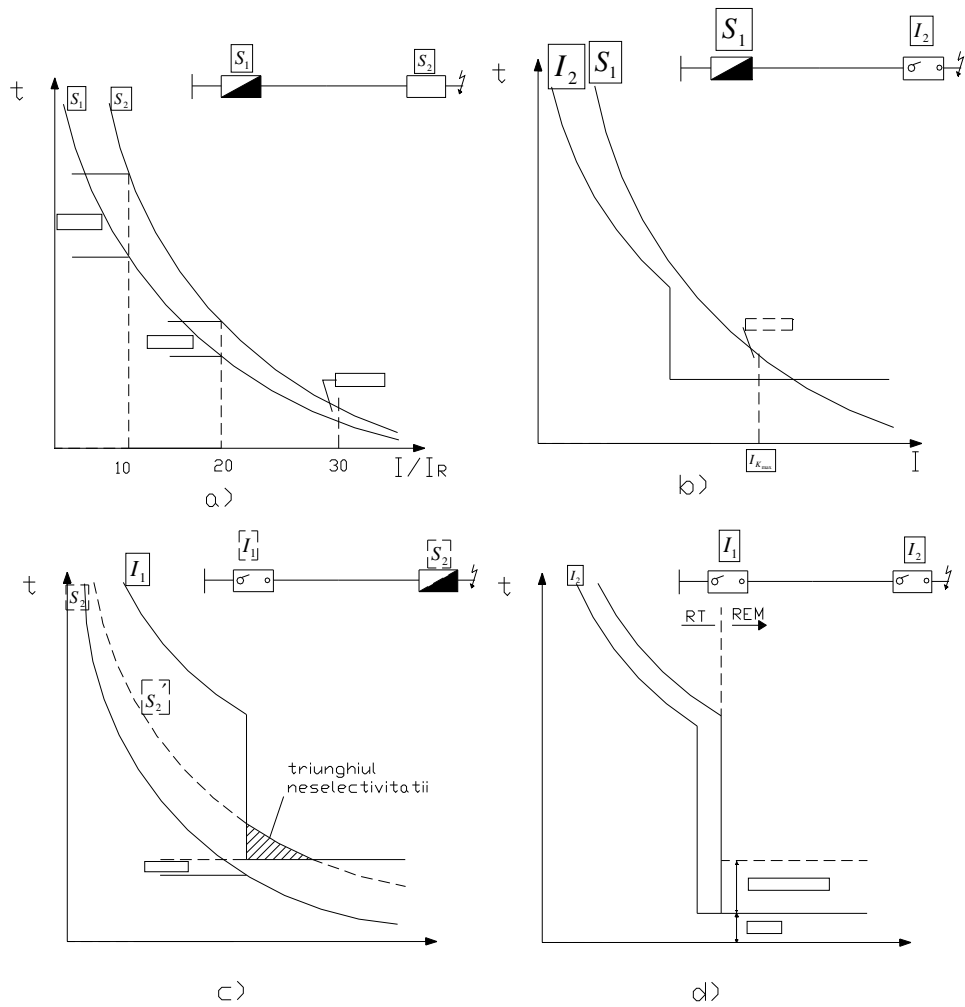


Fig. 8.11.

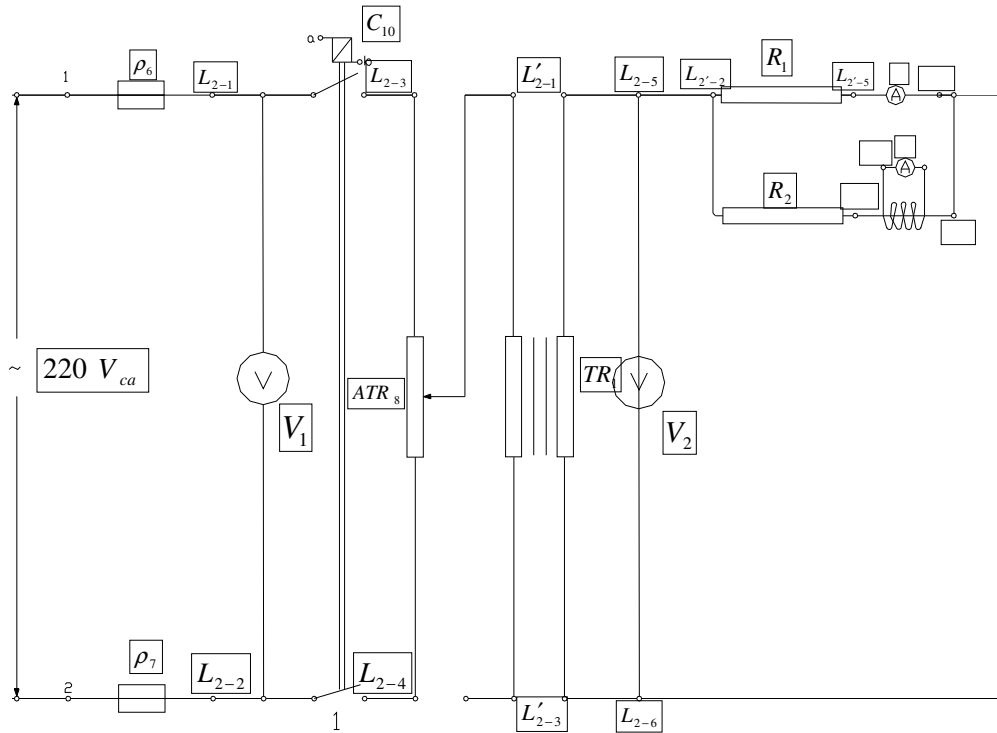


Fig. 8.12

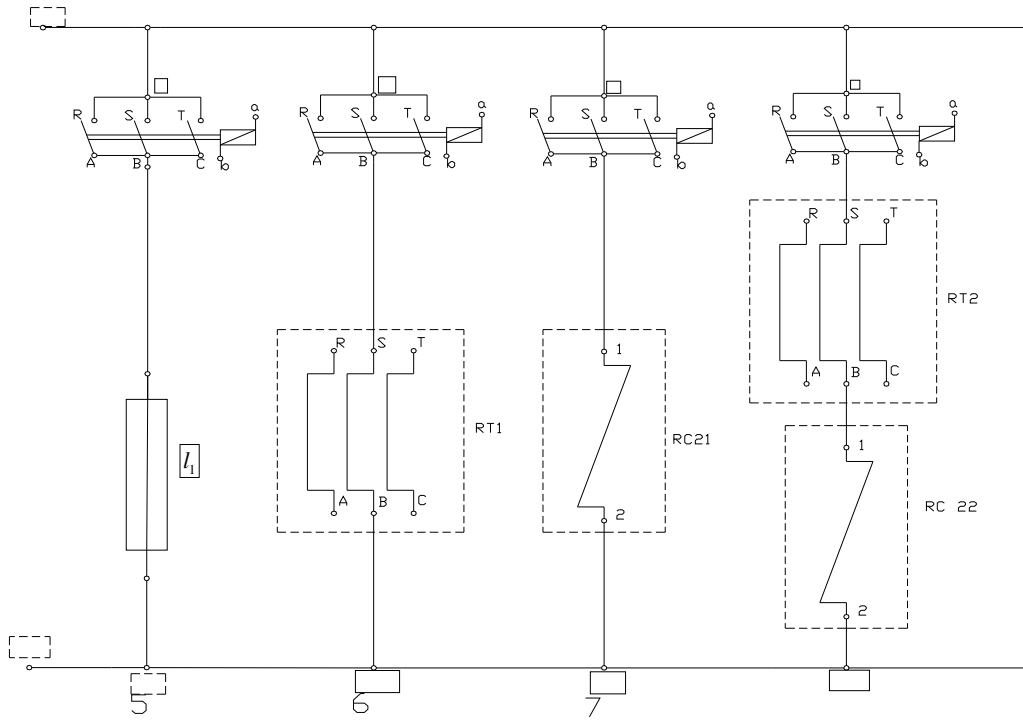


Fig. 8.13.

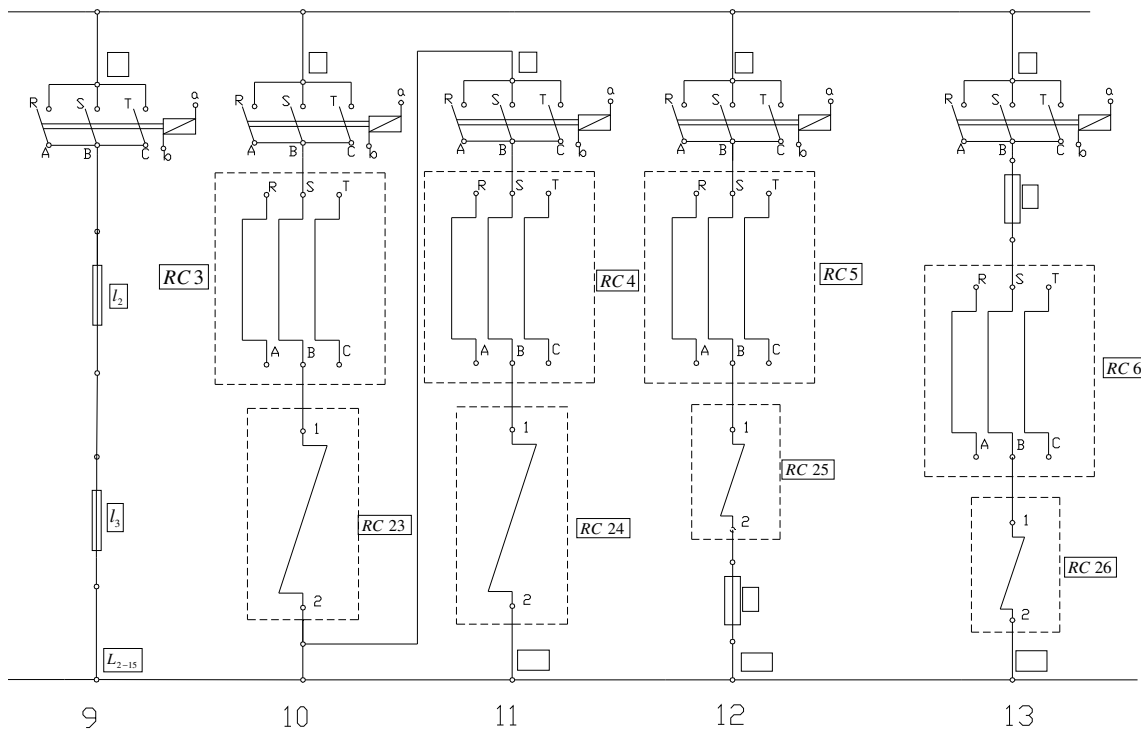


Fig. 8.14.

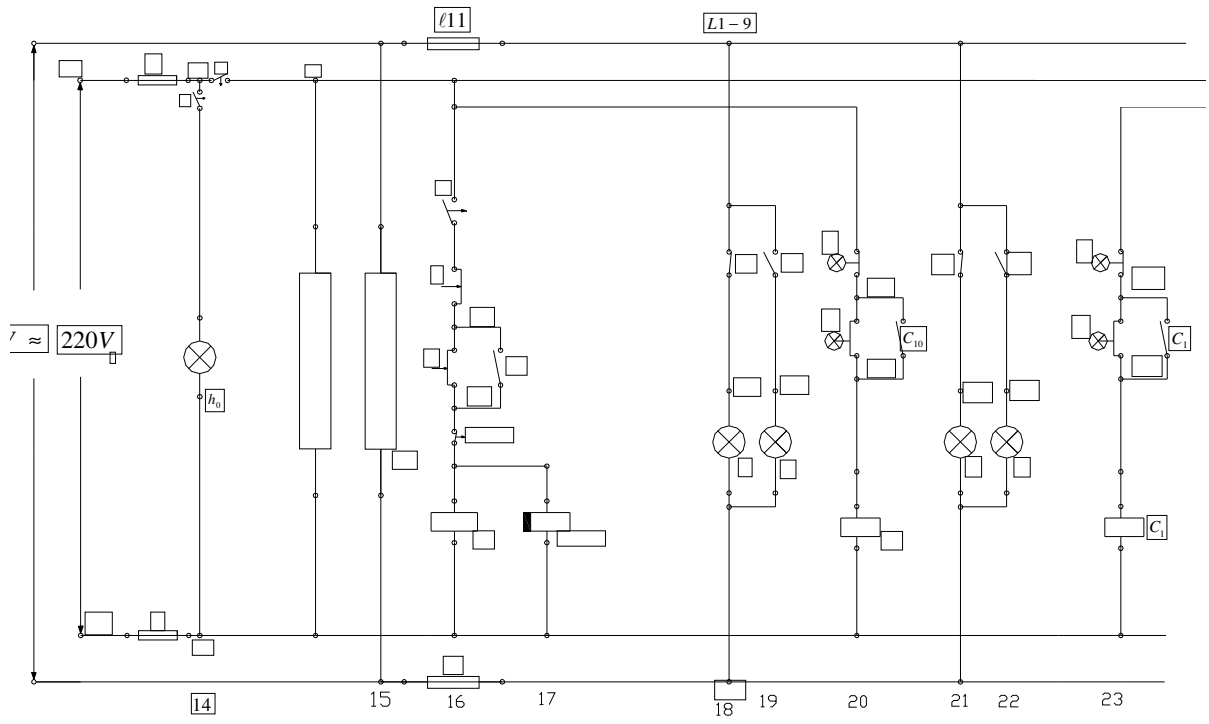


Fig. 8.15.