

ECHIPAMENTE ELECTRICE

VOL. 1

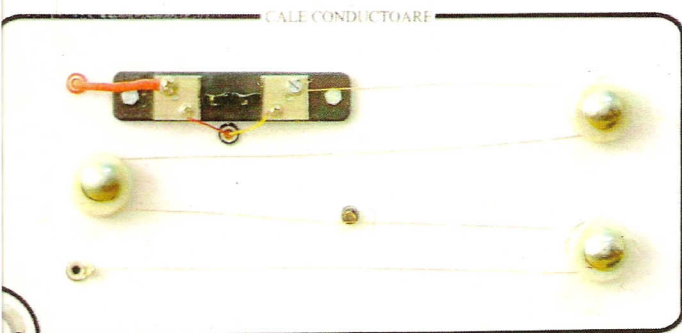
Îndrumar de laborator

MARICEL ADAM
ADRIAN BARABOI

CĂTĂLIN PANCU
MIHAI ANDRUȘCĂ

STUDIUL ÎNCĂLZIRII CĂILOR CONDUCTOARE

CALE CONDUCTOARE



SCHEMA ELECTRICĂ



EDITURA POLITEHNICUM
IAȘI 2013

PREFAȚĂ

Îndrumarul pentru lucrările de laborator la disciplina „Echipamente electrice” care apare în două volume, se adresează studenților de la Facultatea de Inginerie Electrică, Energetică și Informatică Aplicată, precum și inginerilor din domeniul energetic și electric.

Prin conținutul lor, în care un loc preponderent îl ocupă prezentarea principalelor tipuri de echipamente electrice cu utilizare largă în instalațiile electroenergetice, lucrările de laborator au rolul de a accentua latura aplicativă a cunoștințelor teoretice predate la curs, de a permite familiarizarea studenților cu aspectele constructive și funcționale ale echipamentelor electrice, respectiv cu modul de utilizare al acestora.

Structura lucrărilor de laborator este astfel concepută încât să faciliteze înțelegerea sensului fizic al parametrilor, caracteristicilor și funcționalității echipamentelor electrice, asimilarea procedurilor curente de verificare a calității acestora, cunoașterea și utilizarea echipamentului necesar pentru încercări. Se au, de asemenea, în vedere aspectele utilizării corespunzătoare a elementelor de calcul aferente încercării echipamentelor electrice și interpretarea corectă a rezultatelor obținute.

Volumul I al îndrumarului cuprinde un număr de 11 lucrări care urmăresc prezentarea:

- solicitărilor termice ale căilor de curent;*
- aspectelor legate de contactele electrice;*
- unor echipamente de protecție și automatizare (siguranțe fuzibile, descărcătoare, rele);*
- unor echipamente de comutație de joasă tensiune (contactoare electromagnetice, întrerupătoare automate de tip miniatură) și de medie tensiune (întrerupătoare cu ulei puțin, cu hexafluorură de sulf, cu vid).*

Ne exprimăm speranța că apariția acestei noi ediții a îndrumarului de laborator la disciplina de Echipamente Electrice va reprezenta o premiză importantă pentru o cât mai bună pregătire profesională a studenților noștri.

Iași, 21 mai 2013

Autorii

CUPRINS

Prefață.....	1
1. Studiul încălzirii căilor de curent.....	3
2. Studiul contactelor electrice.....	15
3. Studiul siguranțelor fuzibile.....	25
4. Studiul descărcătoarelor electrice.....	39
5. Relee de timp.....	53
6. Relee cu logică programabilă.....	69
7. Contactoare electromagnetice de curent alternativ.....	91
8. Întrerupătoare de joasă tensiune de tip miniatură.....	107
9. Studiul și verificările întrerupătoarelor cu ulei puțin de medie tensiune.....	125
10. Studiul și verificarea întrerupătoarelor de medie tensiune cu hexafluorură de sulf.....	141
11. Întrerupătoare de medie tensiune cu vid.....	151
Bibliografie	167
A1. Meniurile interfețelor de reglare, control și comandă ale standurilor	169
A2. Parametri de material.....	179
A3. Scheme electrice ale întrerupătorului de medie tensiune HD4.....	181
A4. Scheme electrice ale întrerupătorului de medie tensiune VD4.....	191
A5. Reguli generale de lucru și norme de tehnica securității în laborator	197

Lucrarea nr. 1

Studiul încălzirii căilor de curent

1. Regimul tranzitoriu de încălzire a căilor de curent în cazul solicitării termice de lungă durată

Solicitarea termică de lungă durată este produsă sub acțiunea curenților corespunzători regimurilor normale de sarcină. Din momentul stabilirii curentului, pe durata unui regim tranzitoriu de încălzire, temperatura căii de curent crește, evoluând spre o valoare constantă, de regim permanent.

Pentru o cale de curent omogenă, suficient de lungă sau care este prevăzută la capete cu o izolație termică de foarte bună calitate, gradientul de temperatură pe direcție axială este practic nul, încât ecuația generală a solicitărilor termice, se reține sub forma:

$$\rho_0 [1 + \alpha_R (\vartheta + \theta_a)] J^2 = \gamma c \frac{\partial \vartheta}{\partial t} + \alpha_t \frac{\ell_p}{s} \vartheta, \quad \vartheta(0) = \vartheta_0, \quad (1.1)$$

unde:

$$\vartheta(t) = \theta(t) - \theta_a \quad (1.2)$$

reprezintă supratemperatura în $^{\circ}\text{C}$, $\rho_0 [\Omega\text{m}]$, $\gamma [\text{kg}/\text{m}^3]$ sunt rezistivitatea, respectiv densitatea materialului conductor la 0°C , $\alpha_R [^{\circ}\text{C}^{-1}]$ - coeficientul de variație al rezistivității cu temperatura, $J [\text{A}/\text{m}^2]$ - densitatea de curent, $c [\text{J}/\text{kg}^{\circ}\text{C}]$ - căldura specifică, $\alpha_t [\text{W}/\text{m}^2\text{C}]$ - transmisivitatea termică globală, $s [\text{m}^2]$ - suprafața secțiunii transversale, $\ell_p [\text{m}]$ - lungimea perimetrului corespunzător secțiunii transversale s , $\theta [^{\circ}\text{C}]$ - temperatura căii de curent, $\theta_a [^{\circ}\text{C}]$ - temperatura mediului ambiant.

Dacă se notează:

$$\vartheta_p = \frac{\rho_0 J^2 s (1 + \alpha_R \theta_a)}{\alpha_t \ell_p - \rho_0 J^2 s \alpha_R}, \quad T = \frac{\gamma c s}{\alpha_t \ell_p - \rho_0 J^2 s \alpha_R}, \quad J = J_{cr} = \sqrt{\frac{\alpha_t \ell_p}{\rho_0 \alpha_R s}}, \quad (1.3)$$

$\vartheta_p [^{\circ}\text{C}]$ fiind supratemperatura de regim permanent, iar $T [\text{s}]$ - constanta de timp termică, ecuația (1.1) se poate scrie sub forma :

$$\frac{d\vartheta}{dt} = -\frac{\vartheta}{T} + \frac{\vartheta_p}{T}, \quad \vartheta(0) = \vartheta_0 \quad (1.4)$$

și admite soluția:

$$\vartheta(t) = \vartheta_p (1 - e^{-t/T}) + \vartheta_0 e^{-t/T}. \quad (1.5)$$

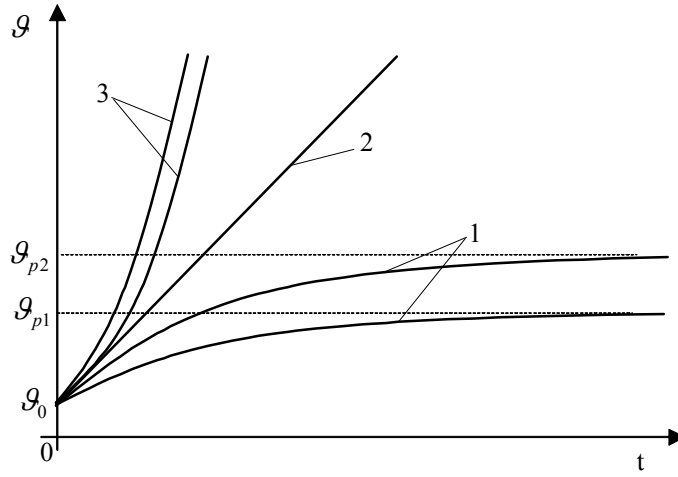


Fig.1.1

Regimul tranzitoriu de încălzire

În cazul densității de curent critice, dată de relația (1.3), soluția ecuației (1.1) rezultă de forma:

$$g(t) = \frac{\rho_0 J_{cr}^2 (1 + \alpha_R \theta_a)}{\gamma c} t + g_0. \quad (1.6)$$

Corespunzător relațiilor (1.5), (1.6), în Fig.1.1 este reprezentat grafic regimul tranzitoriu $g(t)$, pentru următoarele valori ale densității de curent: $J < J_{cr}$ (curbele 1), $J = J_{cr}$ (curba 2), $J > J_{cr}$ (curbele 3). Se evidențiază astfel că o condiție necesară de existență a solicitării termice de lungă durată este de forma $J < J_{cr}$, pentru care, din (1.3) rezultă $g_p > 0$, $T > 0$; în acest caz supratemperatura de regim tranzitoriu tinde spre o valoare finită, g_p , de regim permanent:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} g(t) = g_p > 0, \quad J < J_{cr}. \quad (1.7)$$

Pentru densități de curent $J > J_{cr}$, rezultă $g_p < 0$, $T < 0$ conform Fig. 1.1 și relațiilor (1.3), (1.5), (1.6), în ipoteza $J \geq J_{cr}$, supratemperatura crește nedefinit în timp:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} g(t) = \infty, \quad J \geq J_{cr}, \quad (1.8)$$

limitarea supratemperaturii fiind posibilă doar prin limitarea duratei procesului de încălzire. Acesta este cazul solicitării termice de scurtă durată, produsă în mod obișnuit sub acțiunea curenților de scurtcircuit.

În ipotezele $J < J_{cr}$, $g_0 = 0$ din (1.5) se obține:

$$g(T) = 0,632 g_p, \quad (1.9)$$

constanta de timp termică, T , se definește astfel ca durata în care supratemperatura de regim tranzitoriu, inițial nulă, atinge valoarea $0,632 \mathcal{G}_p$.

În ipotezele menționate, din relația (1.5) se obține:

$$\mathcal{G}(4T) = 0,982 \mathcal{G}_p, \quad (1.10)$$

evidențiindu-se astfel că după o durată $t=4T$ se poate considera atinsă supratemperatura de regim permanent (cu o eroare sub 2% în supratemperatură).

În cazul solicitării termice de lungă durată corespunzătoare unei căi de curent de lungime ℓ , prin neglijarea celui de-al doilea termen de la numitorii relațiilor (1.3_{1,2}), se obțin expresiile simplificate:

$$\mathcal{G}_p \cong \frac{R_a I^2}{\alpha_t S}, \quad T \cong \frac{mc}{\alpha_t S}, \quad (1.11)$$

$R_a [\Omega]$ fiind rezistența căii de curent la temperatura mediului ambiant θ_a , $I [A]$ – intensitatea curentului, $S [m^2]$ – suprafața de cedare a căldurii, $m [kg]$ – masa căii de curent.

2. Regimul permanent de încălzire al căilor de curent

În regim permanent supratemperatura este constantă, căldura degajată prin efect Joule în volumul căii de curent fiind cedată în întregime, prin suprafața laterală a acesteia, mediului ambiant; ecuația generală a solicitărilor termice [1], se particularizează în acest caz sub forma:

$$p = \alpha_t \frac{\ell}{S} (\theta - \theta_a), \quad (1.12)$$

$p [W/m^3]$ reprezentând pierderile specifice de putere în volumul căii de curent. Potrivit legii Joule – Lenz, pierderile specifice în volumul unei căi de curent omogene se calculează cu relația:

$$p = k_p \rho_0 (1 + \alpha_R \theta) J^2, \quad (1.13)$$

unde k_p reprezintă coeficientul pierderilor suplimentare, datorate efectelor pelicular și de proximitate; acesta are valori supraunitare numai la încălzirea sub acțiunea curentului alternativ a unor căi de curent masive sau a mai multor căi de curent amplasate la distanțe mici una în raport cu celelalte (de exemplu la cabluri multifilare).

Din ecuațiile (1.12), (1.13), pentru temperatura de regim permanent se obține expresia:

$$\theta_p = \frac{k_p \rho_0 I^2 + \alpha_t \ell_p s \theta_a}{\alpha_t \ell_p s - k_p \rho_0 I^2 \alpha_R}, \quad (1.14)$$

unde:

$$I = J \cdot s, \quad (1.15)$$

reprezintă intensitatea (valoarea efectivă) a curentului care produce încălzirea.

Relația (1.14) permite:

- calculul intensității I_{ad} , a curentului admisibil printr-o cale de curent, pentru care se impune condiția $\theta = \theta_{ad}$, θ_{ad} fiind temperatura limită admisibilă corespunzătoare solicitării termice de lungă durată;

- verificarea încălzirii de regim permanent a unei căi de curent, produsă sub acțiunea unui curent de sarcină de intensitate $I < I_{ad}$; prin calcul, în acest caz trebuie să rezulte $\theta < \theta_{ad}$;

- dimensionarea unei căi de curent care, parcursă de curentul nominal având intensitatea $I=I_n$, atinge la regim permanent temperatura $\theta = \theta_p < \theta_{ad}$.

3. Regimul periodic intermitent de încălzire al căilor de curent

Echipamentele electrice sunt destinate uneori să funcționeze în regim intermitent, caracterizat prin variația în timp, după o anumită lege, a valorilor efective ale intensității curentului. Regimul termic periodic intermitent, având perioada T_i dată de relația:

$$T_i = t_c + t_p, \quad (1.16)$$

se obține ca urmare a unei circulații periodic-intermitente a curentului; valoarea (valoarea efectivă) a intensității acestuia, I_p , este constantă pe duratele de conducție t_c , dar se anulează pe duratele de pauză, t_p (Fig.1.2.).

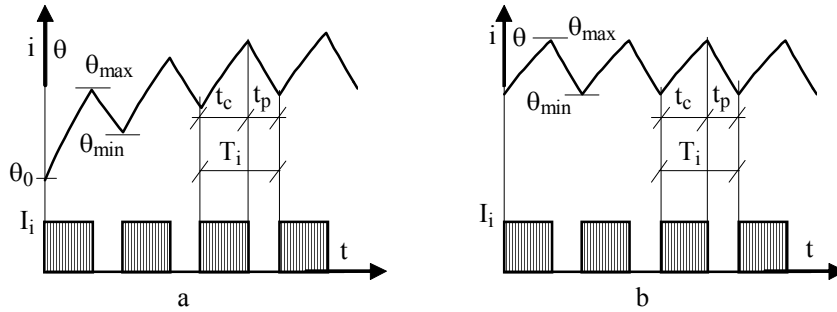
Regimul periodic intermitent de încălzire se stabilește dacă, pe duratele t_p , supratemperatura conductorului nu se anulează, iar perioada T_i a ciclurilor, îndeplinește condiția:

$$T_i \leq 6 \cdot 10^2 s. \quad (1.17)$$

Un parametru util în calculele referitoare la regimul intermitent este durata relativă de conectare, în general exprimată procentual și definită prin relațiile:

$$DC = \frac{t_c}{T_i}, \quad DC\% = \frac{t_c}{T_i} 100, \quad (1.18)$$

t_c fiind durata activă (de conducție) a regimului intermitent, iar T_i -perioada de repetiție a ciclurilor (valori standardizate: 10%, 25%, 40%, 60%, 100%).

**Fig.1.2**

*Curentul și temperatura în cazul solicitării termice periodic intermitente:
a-regimul tranzitoriu; b-regimul cvasipermanent.*

În cazul solicitării termice intermitente, regimul tranzitoriu al temperaturii tinde spre un regim cvasipermanent (Fig.1.2.b), pe durata căruia temperatura oscilează între limitele $\theta_{\min}$, $\theta_{\max}$ în jurul unei valori medii constante. Valorile minimă, respectiv maximă ale regimului cvasipermanent sunt date de relațiile:

$$\left. \begin{aligned} \mathcal{G}_{\min} &= \mathcal{G}_p(I_i) \frac{e^{-\frac{t_p}{T}} - e^{-\frac{T_i}{T}}}{1 - e^{-\frac{T_i}{T}}}, \\ \mathcal{G}_{\max} &= \mathcal{G}_p(I_i) \frac{1 - e^{-\frac{t_c}{T}}}{1 - e^{-\frac{T_i}{T}}}, \end{aligned} \right\} \quad (1.19)$$

$\mathcal{G}_p(I_i)$ fiind supratemperatura de regim permanent corespunzătoare solicitării termice de lungă durată a căii conductoare sub acțiunea curentului de intensitate I_i , T -constanta de timp termică, T_i -perioada de repetiție a ciclurilor. Relația (1.19₂) evidențiază faptul că supratemperatura maximă, $\mathcal{G}_{\max}$, corespunzătoare regimului intermitent cvasipermanent, este mai mică în valoare decât supratemperatura $\mathcal{G}_p(I_i)$; relația (1.19₂) se mai poate scrie sub forma:

$$\frac{\mathcal{G}_p(I_i)}{\mathcal{G}_{\max}(I_i)} = \frac{1 - e^{-\frac{T_i}{T}}}{1 - e^{-\frac{t_c}{T}}} = k_\theta > 1, \quad (1.20)$$

k_θ fiind factorul de supraîncărcare pentru temperatură. În ipoteza $T \gg T_p$, prin aproximarea lineară a funcțiilor exponențiale din relația (1.20), se obține:

$$k_\theta = \frac{1}{DC}, \quad (1.21)$$

DC fiind durată relativă de conectare.

Dacă supratemperatura maximă a unei căi conductoare are aceeași valoare, indiferent dacă solicitarea termică este de lungă durată continuă sau intermitentă, se poate arăta că, în funcționare intermitentă, calea conductoare poate fi supraîncărcată în curent. Într-adevăr, din condiția:

$$\mathcal{G}_p(I) = \mathcal{G}_{max}(I_i), \quad (1.22)$$

și, ținând seama de relațiile (1.11₁), (1.20), se obține:

$$\mathcal{G}_p(I) = \frac{R_a I^2}{\alpha_t S} = \frac{\mathcal{G}_p(I_i)}{k_\theta} = \frac{R_a I_i^2}{\alpha_t S k_\theta}, \quad (1.23)$$

astfel încât, în final, se poate scrie:

$$I_i = k_i I, \quad (1.24)$$

unde:

$$k_i = \sqrt{k_\theta} = \frac{1}{\sqrt{DC}} > 1 \quad (1.25)$$

reprezintă factorul de supraîncărcare în curent, I și I_i fiind intensitățile curentului corespunzătoare solicitării termice continue, respectiv intermitente.

4. Curenți de suprasarcină. Caracteristici timp-curent

În regimuri normale de sarcină, solicitarea termică de lungă durată este produsă sub acțiunea unor curenți având intensitatea $I_s \leq I_n < I_{ad}$ unde I_n , I_{ad} reprezintă intensitățile curenților nominal, respectiv admisibil; temperaturile de regim permanent ale căilor de curent ating valori $\theta < \theta_{ad}$, θ_{ad} fiind temperatura admisibilă.

Datorită unor receptoare având sarcină variabilă în limite largi, de exemplu motoare asincrone, în instalații apar regimuri de suprasarcină pe durata cărora curenții au intensități $I_{sc} > I_{ad}$ (orientativ $I_{sc} = I_{ad} \dots 6 I_{ad}$); în aceste cazuri temperatura crește în timp, tinzând să depășească valoarea θ_{ad} .

Dacă durata de existență a curenților de sarcină poate fi oricât de mare, durata de menținere a curenților de suprasarcină trebuie limitată în valoarea admisibilă τ , corespunzătoare momentului în care temperatura $\theta(t)$ a căii de curent atinge valoarea limită admisibilă, θ_{ad} .

Ținând seama de aceste considerente, condiția necesară și suficientă de existență a solicitării termice de lungă durată este $I \leq I_{ad}$ ($J \leq J_{ad}$), J_{ad} fiind valoarea admisibilă a densității de curent.

Dacă se notează:

$$I_* = \frac{I_{sc}}{I_{ad}}, I_* > 1, \quad (1.26)$$

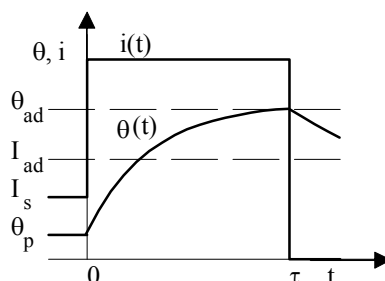


Fig.1.3

Curentul de suprasarcină și regimul tranzitoriu al temperaturii

dependența $\tau = \tau(I_*)$ reprezintă caracteristica timp-curent pentru o cale de curent.

Expresia caracteristicii $\tau(I_*)$ se determină impunând condiția ca temperatura de regim tranzitoriu, $\theta(t)$, înregistrată din momentul $t=0$ al apariției curentului de suprasarcină, Fig.1.3, să atingă valoarea admisibilă θ_{ad} în momentul $t = \tau$ adică:

$$\theta(\tau) = \theta_{ad} . \quad (1.27)$$

Ținând seama de relațiile (1.2), (1.5) condiția (1.27) se scrie sub forma:

$$\mathcal{G}_{psc} (1 - e^{-\tau/T}) + \mathcal{G}_p e^{-\tau/T} + \theta_a = \theta_{ad} , \quad (1.28)$$

$\mathcal{G}_{psc}$, $\mathcal{G}_p$ fiind supratemperaturile de regim permanent produse sub acțiunea curenților având intensitățile I_{sc} , respectiv I_s . Potrivit relațiilor (1.11₁), (1.26), se obține:

$$\mathcal{G}_{psc} = (\theta_{ad} - \theta_a) I_*^2, \quad \mathcal{G}_p = (\theta_{ad} - \theta_a) \eta^2, \quad (1.29)$$

unde η reprezintă gradul inițial de încărcare al căii de curent, dat de relația:

$$\eta = \frac{I_s}{I_{ad}}, \quad \eta < 1. \quad (1.30)$$

Ținând seama de (1.28), (1.29), expresia caracteristicii timp-curent se obține din relația (1.27) de forma:

$$\tau = T \ln \frac{I_*^2 - \eta^2}{I_*^2 - 1}. \quad (1.31)$$

Reprezentarea grafică a caracteristicii $\tau(I_*)$ este dată în Fig.1.4, curbele 1, 2.

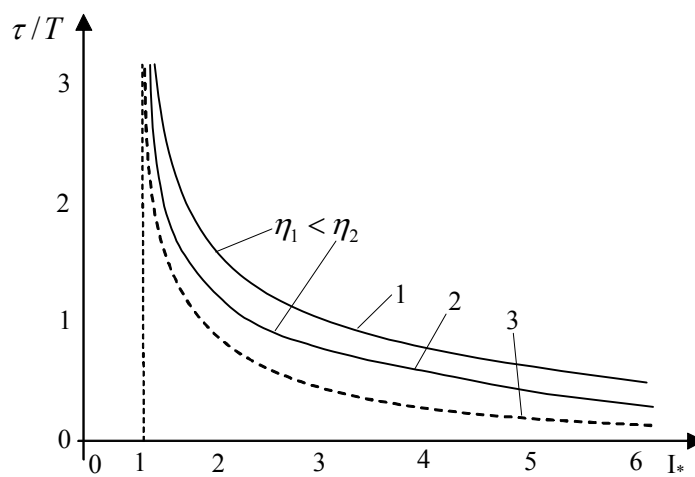


Fig.1.4
Caracteristici timp-curent

O protecție la suprasarcină avantajoasă sub raport tehnico-economic trebuie să aibă caracteristica de protecție timp (de acționare) – curent, curba 3, Fig.1.4, de aceeași formă cu caracteristicile $\tau(I_*)$ ale instalației protejate. Pentru asigurarea protecției la orice valoare I_* a curentului de suprasarcină, caracteristica de protecție trebuie să se găsească sub caracteristicile $\tau(I_*)$; în aceste condiții, curentul de suprasarcină este întrerupt înainte de momentul atingerii temperaturii limită admisibile în instalația protejată.

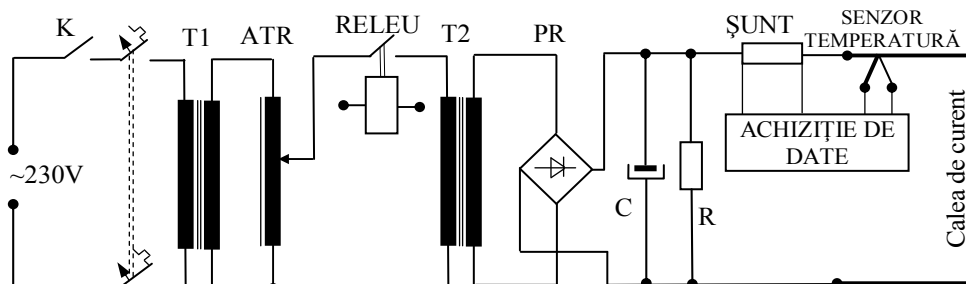
5. Programul lucrării

5.1. Schema electrică și standul experimental

Cu ajutorul montajului, având schema electrică prezentată grafic în Fig.1.5 și a unui instrument virtual de achiziție a datelor, se înregistrează curba de variație a temperaturii într-un punct de pe calea de curent.

Standul experimental va prelua, printr-un sistem de achiziții de date, informații despre temperatura căii conductoare și a intensității curentului care o parcurge, convertindu-le corespunzător în scopul afișării pe panoul de comandă al standului precum și pentru transmiterea către un calculator ce va permite afișarea grafică a curbelor de variație ale temperaturii și curentului, respectiv va asigura memorarea datelor culese.

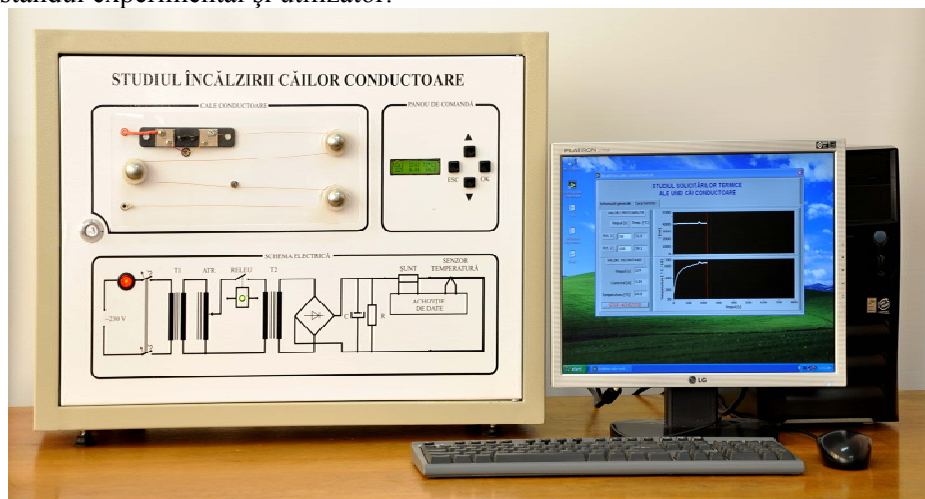
Calea de curent este realizată dintr-un conductor de cupru cu diametrul de 0,45 mm, în lungime de un metru, la mijlocul căii de curent fiind amplasat un senzor de temperatură de tipul LM35.

**Fig.1.5***Schema electrică a standului*

Studiul încălzirii căii de curent se poate face atât în regim permanent cât și în regim intermitent, la valori ale curentului cuprinse între 1 A și 5 A.

Pentru legătura cu instrumentul virtual (aplicație software concepută în mediul de programare LabVIEW) standul a fost echipat cu o interfață serială RS 232, prin intermediul căreia setările realizate de la panoul de comandă sunt transmise către calculator, Fig.1.6. Instrumentul virtual va permite prelucrarea datelor achiziționate și afișarea sub formă grafică a evoluțiilor temperaturii și curentului prin cale de curent. Totodată, aplicația software dă posibilitatea salvării, sub formă tabelară într-un fișier de tip text (.txt), a datelor achiziționate.

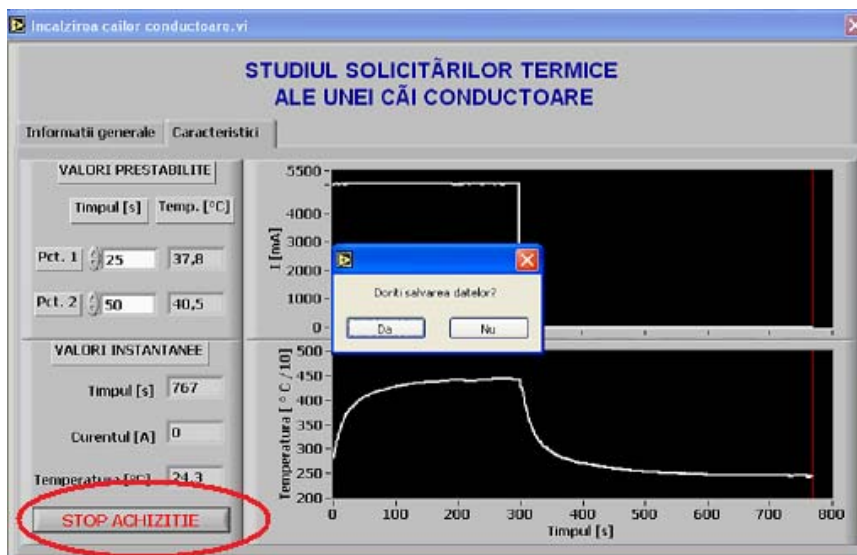
Prin intermediul panoului de comandă și control al standului (taste și afișaj alfa-numeric) se stabilește regimul de lucru, curentul de lucru, timpii de încălzire etc., Fig.1.7. În Anexa 1.A este prezentat meniul interfeței dintre standul experimental și utilizator.

**Fig.1.6***Instalația experimentală*

**Fig.1.7***Panoul de comandă și control*

Odată lansată comanda achiziției de date prin intermediul panoului de comandă și control, aplicația software va începe să înregistreze și să prelucreze informațiile primite. Dacă utilizatorul va accesa submeniul "CARACTERISTICI" de pe pagina de start a instrumentului virtual, acesta va afișa curentul prin calea conductoare și temperatura căii conductoare, Fig.1.8.

Alături de aceste caracteristici, în casete distincte vor fi afișate valorile instantanee ale timpului, curentului prin calea conductoare și ale temperaturii acesteia. De asemenea, într-o casetă vor fi memorate două temperaturi la două momente în timp prestabilite, valori ale temperaturii ce vor fi folosite de către studenți în calculele din programul lucrării.

**Fig.1.8***Afișarea grafică a parametrilor achiziționați*

La un moment dorit, prin apăsarea tastei ”STOP ACHIZITIE”, aplicația oferă utilizatorului posibilitatea de salvare a datelor într-un fișier text, Fig.1.8.

Ulterior, datele salvate pot fi prelucrate în programe de calcul tabelar, cu ar fi MS Excel.

5.2. Determinarea transmisivității termice globale

Calea de curent este supusă încălzirii în regim permanent la un curent I (densitate de curent J) a cărei valoare este precizată de conducătorul lucrării. Evoluția temperaturii $\theta(t)$ va fi înregistrată de către instrumentul virtual care va preciza și valorile a două temperaturi obținute la momentele de timp dorite.

Pentru determinarea constantei de timp termice T , se formează sistemul de ecuații:

$$\mathcal{G}(t_1) = \mathcal{G}_p(1 - e^{-t_1/T}), \quad \mathcal{G}(t_2) = \mathcal{G}_p(1 - e^{-t_2/T}), \quad (1.32)$$

unde $\mathcal{G}(t_1)$, $\mathcal{G}(t_2)$ sunt valori ale supratemperaturii de regim permanent la momentele t_1 și t_2 , unde $t_2 = 2 t_1$. În aceste condiții, din sistemul de ecuații (1.32) se obține:

$$\frac{\mathcal{G}(t_2)}{\mathcal{G}(t_1)} = \frac{1 - e^{-t_2/T}}{1 - e^{-t_1/T}} = 1 + e^{-t_1/T}, \quad (1.33)$$

de unde rezultă:

$$T = -\frac{t_1}{\ln\left[\frac{\mathcal{G}(t_2)}{\mathcal{G}(t_1)} - 1\right]}, \quad [s]. \quad (1.34)$$

Transmisivitatea termică globală α_t se calculează cu relația (1.32), valorile parametrilor termofizici de material fiind date în Anexa 2.

5.3. Regimul periodic intermitent

Cu ajutorul standului experimental se supune calea de curent unui regim de încălzire periodic intermitent. Valoarea I_i a curentului intermitent, perioada T_i (durata de conducție t_c și durata de pauză t_p), respectiv durata regimului intermitent sunt date de conducătorul lucrării și vor fi stabilite de pe panoul frontal al standului.

Se determină prin calcul valorile minimă, respectiv maximă ale supratemperaturii regimului cvasipermanent folosind relațiile (1.19), și se compară cu valorile obținute experimental. Se observă dacă supratemperatura maximă, $\mathcal{G}_{\max}$, corespunzătoare regimului intermitent cvasipermanent, este mai mică decât supratemperatura $\mathcal{G}_p(I_i)$ corespunzătoare solicitării termice de

lungă durată a căii conductoare, produse sub acțiunea curentului de intensitate I_i .

Se calculează valoarea curentului intermitent care produce aceeași supratemperatură maximă cu cea dată de un curent cu circulație continuă prin calea conductoare. Se va considera durata relativă de conectare, $DC=0,25$, respectiv valoarea I a curentului de regim permanent de 2 A. Cu ajutorul standului se vor realiza cele două regimuri de încălzire ale căii conductoare și se va observa dacă supratemperaturile maxime sunt egale.

5.4. Verificarea experimentală a unor puncte de pe caracteristica timp-curent

Cu valori precizate de conducătorul lucrării pentru parametrii $k_p, \theta_{ad}, \theta_a$ se calculează, utilizând relația (1.14), intensitatea I_{ad} a curentului admisibil. Se determină apoi, cu relația (1.26), curenții I_{1*}, I_{2*}, I_{3*} , dând pe rând intensitățile I_{sc} valorile I_1, I_2, I_3 stabilite de conducătorul lucrării. Deoarece înregistrările s-au făcut pentru $\vartheta_0 = 0$, cu relația (1.31) în care se consideră $\eta=0$, se calculează duratele admisibile τ_1, τ_2, τ_3 , corespunzătoare curenților I_{1*}, I_{2*}, I_{3*} . Se verifică pe înregistrările $\vartheta_1(t), \vartheta_2(t), \vartheta_3(t)$ valorile duratelor τ_1, τ_2, τ_3 .

Rezultatele obținute se trec în Tab.1.1.

Tab.1.1

$\theta_{ad} = \dots\dots\dots [^{\circ}\text{C}]$ $\theta_a = \dots\dots\dots [^{\circ}\text{C}]$ $I_{ad} = \dots\dots\dots [\text{A}]$	$I [\text{A}]$				
	I_*				
	$\tau [s]$	Calculat			
		Măsurat			

6. Conținutul referatului

- ☐ Schema electrică a montajului utilizat pentru încercările experimentale.
- ☐ Reprezentările grafice ale înregistrărilor regimurilor tranzitorii de variație a temperaturii de la §5.2, §5.3.
- ☐ Calculele și rezultatele numerice obținute la §5.2, §5.3, §5.4 și tabelul de date completat.
- ☐ Observații și concluzii.

7. Bibliografie

- [1] Baraboi A., Adam M., *Echipamente electrice (vol. I)*, Editura "Gh. Asachi" Iași, 2002.

Lucrarea nr. 2

Studiul contactelor electrice

1. Rezistența de contact

Contactele electrice sunt elemente constructive ale căilor de curent, constituite din piese metalice prin atingerea cărora se obține conducția electrică. Atingerea pieselor de contact se realizează sub acțiune unei forțe F_c , de apăsare în contact, produsă de obicei cu ajutorul unor dispozitive mecanice (resorturi pretensionate).

Prezența unui contact electric pe o cale de curent introduce întotdeauna o rezistență de trecere suplimentară, numită rezistență de contact, R_c . Existența rezistenței de contact se explică pe seama a doua procese care se pun în evidență la nivelul contactului: stricțiunea liniilor de curent și acoperirea suprafețelor de contact cu pelicule disturbatoare. Se consideră astfel că rezistența de contact are două componente, rezistența de stricțiune, R_s , respectiv rezistența peliculară, R_p .

Indiferent de rugozitatea suprafețelor de contact, atingerea acestora nu poate avea loc decât într-un număr finit de puncte, Fig.2.1a; în aceste condiții, suprafața reală de contact, A_c , rezultă întotdeauna mult mai mică decât suprafața aparentă de contact, dependentă de dimensiunile geometrice ale pieselor.

Suprafața reală de contact, A_c [m^2], se poate calcula cu relația dată de Holm:

$$A_c = \frac{F_c}{\xi \cdot H} = n\pi a^2, \quad (2.1)$$

unde F_c [N] este forța de apăsare în contact, H [N/m^2] – duritatea materialului de contact, n – numărul microsuprafețelor de contact, a [m] – raza unei microsuprafețe considerată circulară, $\xi < 1$ – coeficient de corecție a durității H , având valori mai mici în cazul vârfurilor de contact decât cele determinate macroscopic.

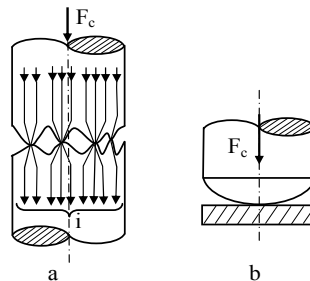


Fig.2.1

Contacte electrice

Pentru contacte punctiforme, Fig.2.1b, suprafața reală de contact se calculează cu relația:

$$A_c = \frac{F_c}{H} = \pi a^2. \quad (2.2)$$

Duritatea H a contactelor este de aceeași natură cu duritatea Brinell, dar de valori diferite [2], în cazul contactelor electrice aceasta fiind, în general, mai mică; din aceste motive, duritatea H poate fi înlocuită în calcule cu rezistența la strivire, σ_p [N/m²], a materialului de contact.

Din cele arătate se trage concluzia că rezistența de stricțiune este o consecință a discontinuității suprafeței transversale a căii de curent în zona contactului electric.

Rezistența de stricțiune, R_s [Ω], pentru un contact punctiform se determină pe baza teoriei modelului sferei de conductivitate infinită, respectiv a modelului microsuprafeței de contact eliptice, [1], fiind dată de relațiile:

$$R_s = \begin{cases} \frac{\rho}{\pi a}, & \text{în cazul modelului sferic,} \\ \frac{\rho}{2a}, & \text{în cazul modelului eliptic,} \end{cases} \quad (2.3)$$

unde ρ [Ωm] este rezistivitatea materialului de contact, iar a [m] – raza microsuprafeței de contact.

Rezistența peliculară, R_p , se pune în evidență ca urmare a formării pe suprafețele de contact a unor pelicule disturbatoare cu proprietăți semiconductoare. Compoziția chimică și grosimea peliculei disturbatoare depind de natura materialului de contact, de temperaturile de funcționare, precum și de compoziția chimică a mediului în care contactele electrice funcționează.

Rezistența peliculară, R_p [Ω], se poate calcula cu o relație de forma:

$$R_p = \frac{R_{po}}{A_c}, \quad (2.4)$$

R_{po} [Ωm^2] fiind rezistența superficială specifică, iar A_c [m²] – suprafața reală de contact.

În practica proiectării obișnuite, calculul contactelor electrice se efectuează ținându-se seama numai de rezistența de stricțiune; corecțiile, atunci când este cazul, se introduc cu ajutorul relației:

$$R_c = R_s + R_p. \quad (2.5)$$

Ținând seama de (2.1), (2.3), (2.4), pentru un contact cu n puncte de atingere, în calculul căruia se adoptă modelul sferic al microsuprafeței de contact, relația (2.5) devine de forma:

$$R_c = \frac{\rho}{n\pi a} + \frac{R_{po}}{n\pi a^2}. \quad (2.6)$$

2. Influența forței de apăsare în contact asupra rezistenței de contact

În cazul contactului punctiform, raza microsuprafeței circulare de contact se calculează cu relația (2.2), din care rezultă:

$$a = \sqrt{\frac{F_c}{\pi H}}; \quad (2.7)$$

substituind (2.7) în (2.3₁), se obține:

$$R_s = \rho \sqrt{\frac{H}{\pi F_c}}. \quad (2.8)$$

Relația (2.8) evidențiază faptul că un contact electric poate fi asimilat cu o porțiune a căii de curent, având rezistența electrică dependentă de valorile forței de apăsare F_c .

Pentru un contact cu n puncte de atingere, prin eliminarea parametrului a între relațiile (2.1), (2.6), se obține:

$$R_c = \rho \sqrt{\frac{\xi H}{\pi n F_c}} + \frac{R_{po} \xi H}{F_c}. \quad (2.9)$$

Pentru determinarea rezistenței de contact în cazul contactelor realizate prin acoperiri metalice, se consideră rezistivitatea materialului de bază și duritatea materialului utilizat pentru acoperire, [2].

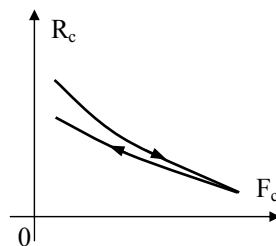
În calculul contactelor electrice, relația (2.9) se consideră uzual sub forma restrânsă:

$$R_c = c F_c^{-m} + e F_c^{-1}, \quad (2.10)$$

valorile parametrilor c , m , e fiind determinate pe cale experimentală. În Tab.2.1 sunt date valorile parametrilor c și e , [2], pentru $m=0,6$, $R_{po}=10^{-12} \Omega m^2$, $\xi=0,45$.

Tab.2.1

Materialul contactelor	Unități SI	
	$10^4 c$	$10^4 e$
Argint	0,842	2,250
Cupru neoxidat	0,935	2,480
Aluminiu	1,342	1,350
Sinterizat Cu – W	1,972	12,600
Cupru cositorit	0,596	0,225
Cupru argintat	0,918	2,250

**Fig.2.2**

Curba de variație $R_c = R_c(F_c)$

În Fig.2.2 este reprezentată grafic curba de variație $R_c = R_c(F_c)$ pentru un contact electric. Histerezisul pus în evidență se explică prin valorile mai mari ale numărului n al punctelor de contact înregistrat la scăderea forței F_c deoarece anterior, la creșterea acesteia, în unele puncte de contact a fost depășită limita domeniului de elasticitate a materialului.

3. Solicitarea termică și electroeroziunea contactelor

La bornele unui contact electric închis și parcurs de un curent de intensitate I , se înregistrează căderea de tensiune pe contact U_c , dată de relația:

$$U_c = R_c I, \quad (2.11)$$

R_c fiind rezistența de contact.

Încălzirea în regim permanent a contactului se calculează cu relația [1]:

$$T_c = \sqrt{\frac{U_c^2}{4L} + T_p^2} \quad [\text{K}], \quad (2.12)$$

T_c [K] fiind temperatura suprafeței de contact, U_c [V] – căderea de tensiune pe contact, $L = 2,4 \cdot 10^{-8} \text{ (V/K)}^2$ - cifra Lorenz pentru metale, T_p [K] - temperatura de regim permanent a căii de curent în puncte suficient de îndepărtate de suprafața de contact. Relația (2.12) prezintă o mare importanță practică, deoarece permite evaluarea temperaturii de regim permanent pe suprafața de contact prin măsurarea căderii de tensiune pe contact.

În mod obișnuit, pentru încălzirea în regim permanent a contactelor, se acceptă ca admisibile valorile $T_c - T_p = (5 \dots 10) \text{ K}$. Solicitarea termică în regim permanent de funcționare a unui contact electric se încadrează în limitele impuse dacă este verificată relația:

$$T_c - 273,15 \leq \theta_{ad}^c, \quad (2.13)$$

unde θ_{ad}^c [°C] este temperatura admisibilă pe suprafața de contact în cazul solicitării termice de lungă durată, având valori precizate în norme.

Contactele electrice de comutație sunt supuse, în special la deschidere, acțiunii arcului electric care produce electroeroziunea suprafețelor de contact.

Intensitatea acestui proces de uzură electrică este hotărâtoare pentru durata de viață a contactelor, exprimată prin numărul N de acționări în sarcină.

Pentru determinarea numărului de acționări în sarcină se utilizează relații de calcul verificate pe cale experimentală, de forma:

$$N = \begin{cases} 10^9 \frac{Q}{q_a t_a I}, & I \leq 5 A, \\ 10^9 \frac{Q}{q I^2}, & I > 5 A, \end{cases} \quad (2.14)$$

unde Q [kg] reprezintă uzura electrică a contactului (pierderea de masă după N acționări), I [A] – intensitatea curentului întrerupt, t_a [s] – durata de ardere a arcului electric, q_a , q - constante de material, având valori precizate în Tab.2.2.

Tab.2.2

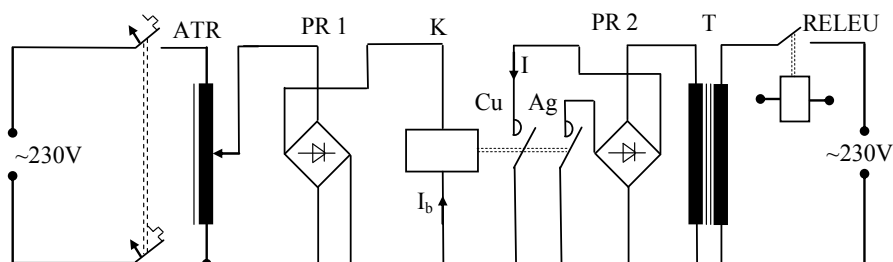
Materialul	q_a [kg/C]	q [kg/A ²]
Cupru	3	$2 \cdot 10^{-4}$
Argint	1,8 ... 5	$5 \cdot 10^{-5}$

Impunând o valoare admisibilă pentru pierderea de masă Q a pieselor de contact, cu relațiile (2.14) se poate evalua numărul maxim de acționări în sarcină pe care contactul îl poate realiza.

4. Programul lucrării

4.1. Standul experimental

Folosind standul experimental a cărui schemă electrică este prezentată în Fig. 2.3 și un instrument virtual de achiziție a datelor se determină forțele de apăsare, căderile de tensiune, respectiv rezistențele de contact ale unor contacte de tip punte din cupru, respectiv argint, Fig.2.4a.

**Fig.2.3**

Schema electrică a standului

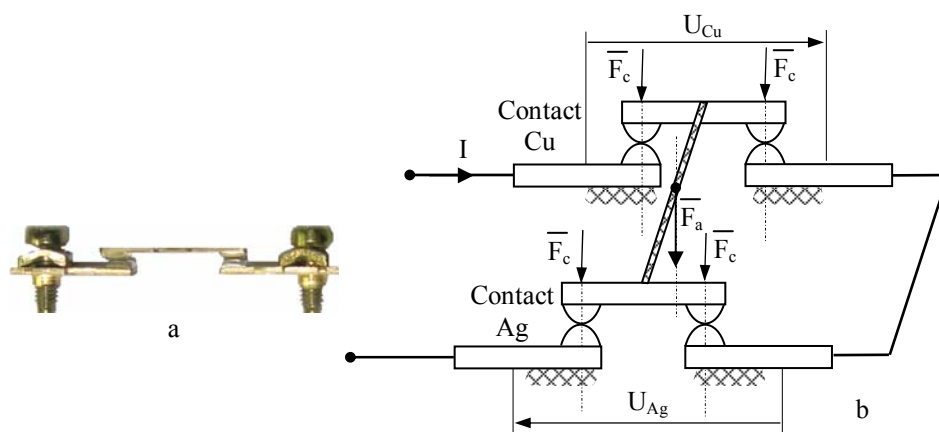


Fig.2.4
Contacte de tip punte

Pentru legătura cu instrumentul virtual (aplicație software concepută în mediul de programare LabVIEW) standul a fost echipat cu o interfață serială RS232, prin intermediul căreia setările realizate de la panoul de comandă al standului sunt transmise către calculator, Fig.2.5. Instrumentul virtual va permite culegerea datelor de la standul experimental, prelucrarea și afișarea rezultatelor obținute.

Prin intermediul panoului de comandă și control al standului (taste și afișaj alfa-numeric) se stabilește numărul de măsurători ce vor fi realizate, reglajul tensiunii și mărimile achiziționate (forța de apăsare și căderile de tensiune pe contactele din cupru și argint), Fig.2.6. În Anexa 1.B este prezentat meniul interfeței dintre standul experimental și utilizator.

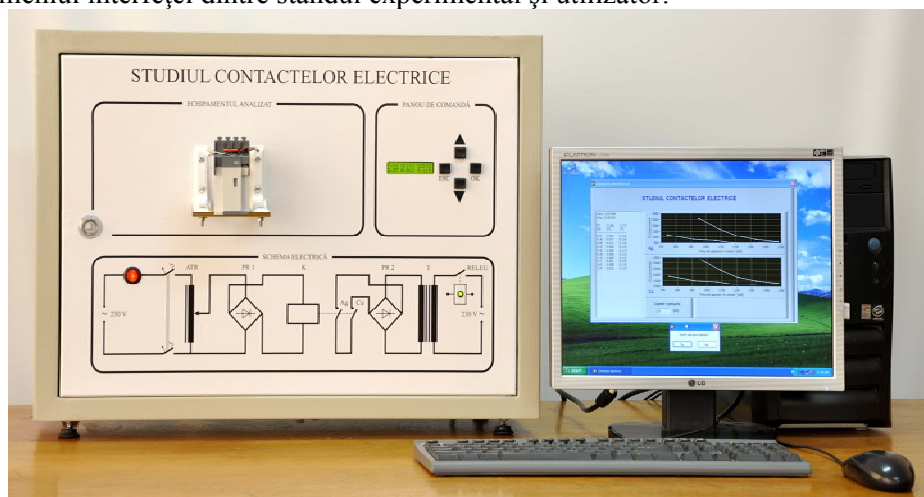


Fig.2.5
Instalația experimentală



Fig.2.6
Panoul de comandă și control

Achiziția datelor se realizează prin apăsarea butonului OK de pe panoul de comandă al standului, această operațiune repetându-se până la atingerea numărului de măsurători prestabilit.

La finalizarea procesului de achiziție a datelor, instrumentul virtual oferă posibilitatea utilizatorului de salvare a datelor (Fig.2.7) într-un fișier de tip text.

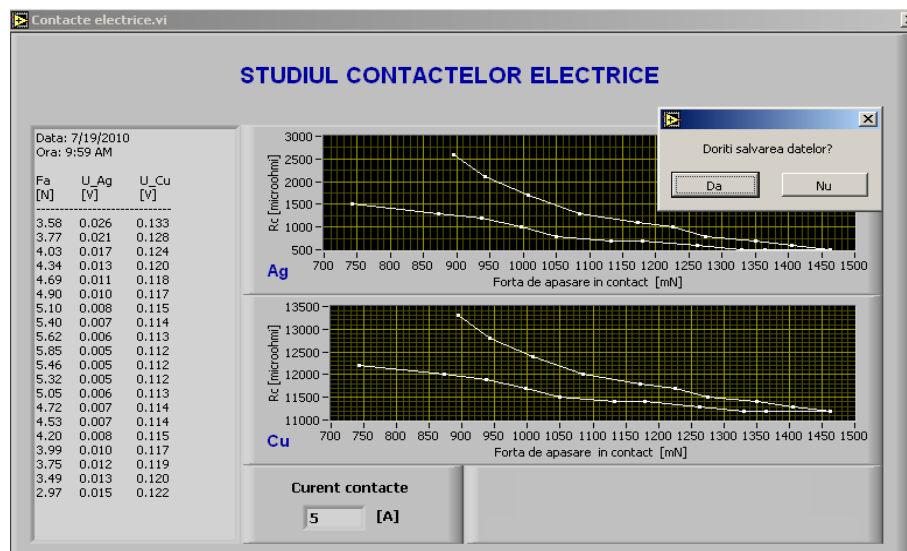


Fig.2.7
Afișarea datelor experimentale

4.2. Determinarea forței de apăsare în contact și a rezistenței de contact. Reprezentarea caracteristicii $R_c(F_c)$

Forța activă F_a care acționează asupra sistemului de contacte (contactul din argint, respectiv din cupru) a fost obținută cu ajutorul unui electromagnet de c.c., modificarea valorii acesteia fiind posibilă prin variația curentului I_b care parcurge bobina electromagnetului.

Forța de apăsare în contacte, F_c , se determină cu relația:

$$F_c = \frac{F_a}{4}, \quad (2.15)$$

unde:

F_a – forța activă dată de electromagnet.

Rezistența de contact pentru fiecare tip de contacte (Ag și Cu) se calculează cu relațiile:

$$R_{cAg} = \frac{U_{Ag}}{2 \cdot I}, \quad R_{cCu} = \frac{U_{Cu}}{2 \cdot I}, \quad (2.16)$$

unde I este curentul care circulă prin sistemul de contacte și are valoarea de 5 A, iar U_{Ag} și U_{Cu} sunt căderile de tensiune de pe cele două tipuri de contacte, Fig.2.4b.

Rezultatele obținute, atât pentru contactul din Cu cât și pentru cel din Ag, se trec în tabele de forma Tab.2.3.

Tab.2.3

Nr. crt.	F_a [N]	U [mV]	F_c [N]	R_c [mΩ]	I [A]	n	a [m]	c	m	T_c [K]	T_p [K]	$T_c - T_p$ [K]	N
1													
2													
⋮													
20													

Folosind datele din Tab.2.3 se trasează curba de variație a rezistenței de contact, R_c , în funcție de forța de apăsare în contact, F_c , pentru contactul din cupru, respectiv cel de argint.

4.3. Determinarea numărului punctelor de contact și a razei unei microsuprafețe de contact

Numărul n al punctelor de contact se determină cu relația (2.9), în care se consideră $R_{po} = 0$ și $\zeta = 0,5 \dots 0,6$; apoi, utilizând relația (2.1), se calculează valorile razei a , corespunzătoare unei microsuprafețe de contact; constantele de material sunt date în Anexa 2.

Rezultatele obținute se trec în Tab.2.3, pentru fiecare valoare a forței de apăsare în contact.

4.4. Evaluarea parametrilor c și m

Plecând de la curba $R_c(F_c)$ obținută experimental se definește curba medie, $R'_c(F_c)$.

Pentru două puncte suficient de îndepărtate de pe aceasta, $A(F_{c1}, R'_{c1})$, $B(F_{c2}, R'_{c2})$, ținând seama de (2.10) în care se consideră $e=0$, se formează sistemul de ecuații:

$$R'_{c1} = c \cdot F_{c1}^{-m}, \quad R'_{c2} = c \cdot F_{c2}^{-m}, \quad (2.17)$$

în care necunoscutele sunt c și m .

Valorile obținute pentru parametrii c și m (pentru Cu și Ag) în urma soluționării sistemului (2.17) se trec în Tab.2.3, comparându-se cu cele precizate în Tab.2.1; se explică eventualele diferențe.

4.5. Evaluarea temperaturii de regim permanent a suprafeței de contact și a numărului maxim de acționări

Valorile temperaturii T_c , înregistrate în regim permanent pe suprafața de contact, se calculează cu relația (2.12) pentru fiecare valoare a temperaturii T_p , precizată de conducătorul lucrării.

Se evaluează masa M a pieselor de contact și se consideră pentru uzura admisibilă a acestora valoarea $Q = (0,4 \dots 0,5) M$.

Cu una din relațiile (2.14) se calculează și se trece în Tab.2.3 numărul maxim, N , de acționări în sarcină pe care contactele studiate îl pot realiza, comutând curentul având intensitatea I cu valoarea de la § 4.2.

5. Conținutul referatului

- ❑ Schema electrică a montajului utilizat pentru încercările experimentale.
- ❑ Tabelele 2.3 cu datele prelucrate.
- ❑ Reprezentarea grafică a caracteristicilor $R_c(F_c)$, $R'_c(F_c)$, $T_c-T_p=f(F_c)$.
- ❑ Observații și concluzii.

6. Bibliografie

- [1] Baraboi A., Adam M., *Echipamente electrice (vol. I)*. Editura "Gh. Asachi" Iași, 2002.
- [2] Hortopan Gh., *Aparate electrice*. EDP, București, 1980.
- [3] Suciu I., *Bazele calculului solicitărilor termice ale aparatelor electrice*. Editura Tehnică, București, 1980.

Lucrarea nr. 3

Studiul siguranțelor fuzibile

1. Parametrii și caracteristicile siguranțelor fuzibile

Siguranțele fuzibile 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 constructive ale unei siguranțe fuzibile, Fig.3.1, sunt:

- soclul, care reprezintă partea fixă a siguranței, conținând contactele fixe 1, prevăzute cu bornele de conexiune 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 umplutură 6 (nisip de cuarț).

Funcționarea în regim nominal a unei siguranțe fuzibile este caracterizată prin curentul nominal de intensitate I_n , sub acțiunea căruia supratemperaturile de lucru, ϑ_c , ale contactelor, Fig.3.1, 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, Fig.3.1, pe elementul fuzibil 5 (realizat în mod obișnuit din cupru, având temperatura de topire 1083 °C) se fixează o anumită cantitate de material eutectic 7 (aliaj 62% Sn, 38% Pb), având temperatura de topire de 183 °C. La încălzirea benzii parcurse de curent, eutecticul ia temperatura acesteia, până la atingerea temperaturii sale de topire; în continuare are loc o reacție de dizolvare a benzii în materialul eutectic topit, urmată de inițierea arcului electric de deconectare.

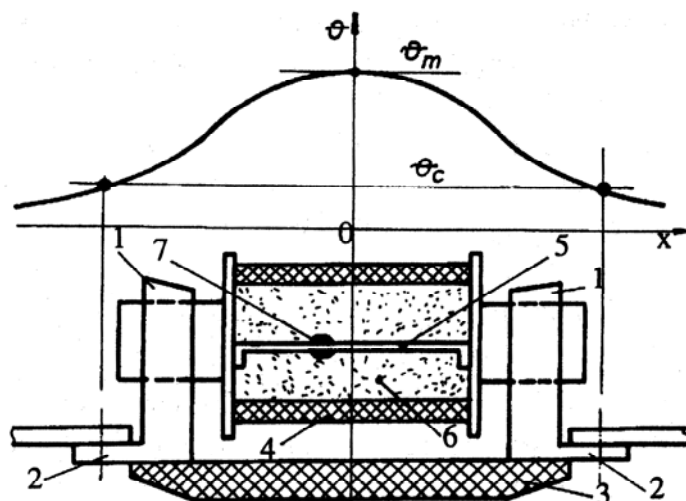


Fig.3.1

Distribuția supratemperaturii în regim permanent

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

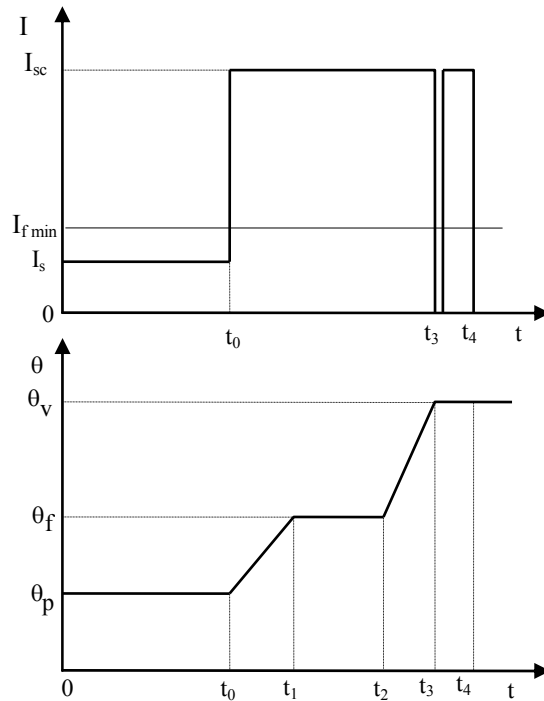
Un regim critic de funcționare al unei siguranțe fuzibile corespunde curentului minim de fuziune, având intensitatea $I_{f \min} > I_n$, sub acțiunea căruia durata de întrerupere a circuitului este teoretic infinită.

Intensitatea $I_{f \min}$ [A] a curentului minim de fuziune corespunzător unei singure benzi fuzibile (unui fir fuzibil) se determină din condiția ca punctul de topire, θ_f [°C] (al elementului fuzibil sau al materialului eutectic) să fie atins pentru $t \rightarrow \infty$, deci în regim permanent de încălzire. În aceste condiții, pentru $k_p = 1$, potrivit relației (1.14), se obține:

$$I_{f \min} = \sqrt{\frac{\alpha_t \cdot l_p \cdot s \cdot (\theta_f - \theta_a)}{\rho_o \cdot (1 + \alpha_R \cdot \theta_f)}}, \quad (3.1)$$

unde α_t [W/m² °C] reprezintă transmisivitatea termică globală, s [m²], l_p [m]-suprafața secțiunii transversale a elementului fuzibil, respectiv lungimea perimetrului acestei secțiuni, θ_a [°C]- temperatura mediului ambiant, ρ_o [Ωm]-rezistivitatea la 0 °C a materialului elementului fuzibil, α_R [°C⁻¹]- coeficientul termic al rezistivității.

Sub acțiunea unui supracurent de intensitate $I_{sc} > I_{f \min}$ care apare în momentul $t = t_0$, Fig.3.2, temperatura elementului fuzibil crește de la valoarea θ_p , corespunzătoare curentului de sarcină de intensitate $I_s < I_{f \min}$, la valoarea θ_f , corespunzătoare punctului de topire.

**Fig.3.2**

Evoluția temperaturii firului fuzibil la apariția unui supracurent

Pe durata $t_1 \leq t \leq t_2$ are loc topirea, apoi temperatura fazei lichide crește până la valoarea θ_v , corespunzătoare punctului de vaporizare al fuzibilului.

În momentul t_3 al vaporizării conducția se întrerupe și, sub acțiunea supratensiunilor de comutație, în elementul înlocuitor se amorsează arcul electric de deconectare. Durata de ardere a acestuia, $t_a = t_4 - t_3$, depinde de tipul dispozitivului de stingere cu care este prevăzută siguranța.

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

- durata de prearc (de fuziune) $t_{pa} = t_3 - t_0$, 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), τ_a , reprezentând suma duratelor de arc și prearc.

Caracteristica de protecție timp-curent, reprezentând variația timpului de funcționare al unei siguranțe fuzibile în funcție de supracurent, se poate

exprima în două variante: caracteristica de topire, $t_{pa}(I^*)$, respectiv caracteristica de întrerupere, $\tau_a(I^*)$, unde s-a notat:

$$I^* = \frac{I_{sc}}{I_{f\min}} > 1, \quad (3.2)$$

I_{sc} fiind intensitatea supracurentului (curent de suprasarcină sau de scurtcircuit), iar $I_{f\min}$ - intensitatea curentului minim de fuziune.

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

După caracteristicile timp-curent, Fig.3.3, siguranțele fuzibile pot fi: 1-rapide, 2-inerte, 3-inert/rapide și 4-ultrarapide.

Variantele moderne de siguranțe fuzibile funcționează, la scurtcircuit, cu efect de limitare, durata de întrerupere fiind mai mică de 0,01s. Oscilogramele funcționării unei siguranțe fuzibile cu efect de limitare sunt prezentate în Fig.3.4a,b, pentru curentul simetric de scurtcircuit, respectiv cel asimetric, unde s-au notat: i_p -curentul prezumat, definit ca fiind acel curent care ar parcurge circuitul dacă siguranța fuzibilă nu ar funcționa, i_{pt} -curentul prezumat tăiat, definit ca valoarea instantanee a curentului prezumat în momentul apariției arcului electric, i_l -curentul limitat ce trece prin siguranța fuzibilă (valoare momentană) după amorsarea arcului electric, i_{lt} -curentul limitat tăiat, definit ca valoarea instantanee maximă a curentului limitat, t_{pa} -durata de prearc, t_a -durata de ardere a arcului electric, $t_{pa}+t_a$ -durata de funcționarea a siguranței fuzibile.

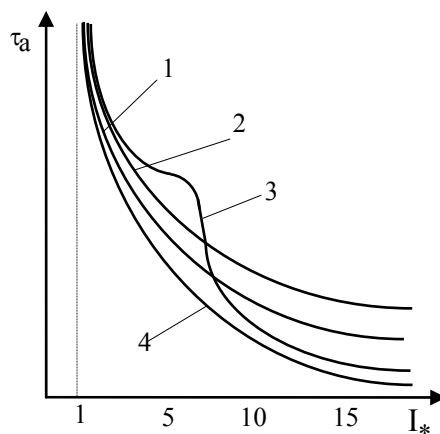


Fig.3.3

Caracteristici de protecție timp-curent

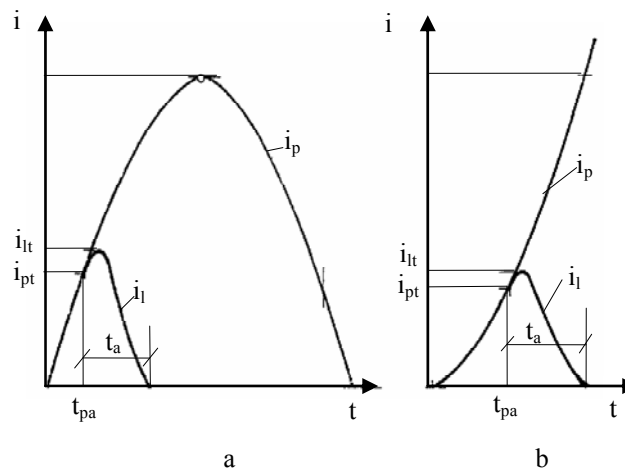


Fig.3.4
Curentul limitat tăiat

Se constată că, după topirea completă a elementului fuzibil și deci după amorsarea arcului electric, curentul mai crește puțin, deoarece rezistența arcului este încă mică. Se poate observa că, în cazul curentului de scurtcircuit asimetric, limitarea curentului este mai pronunțată, iar durata de prearc - mai mare decât în cazul curentului de scurtcircuit simetric.

Pentru aceste siguranțe prezintă importanță caracteristicile amplitudinii curentului tăiat, Fig.3.5, prin care se stabilește dependența, în condiții determinate de funcționare, între valoarea instantanee a intensității i_{lt} a curentului limitat tăiat și valoarea efectivă, I_{kp} , a intensității curentului prezumat de scurtcircuit.

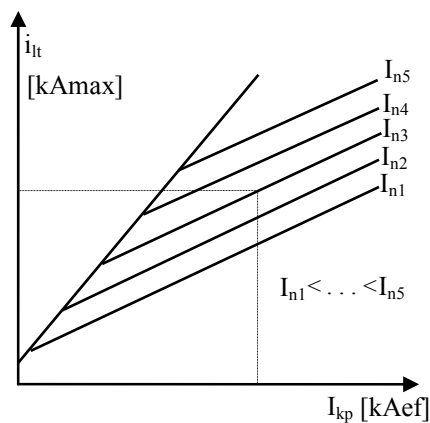


Fig.3.5
Caracteristica amplitudinii curentului tăiat

Efectul de limitare al siguranțelor fuzibile este cu atât mai pronunțat cu cât valoarea curentului nominal al siguranței este mai mică și curentul de scurtcircuit - mai mare. Evident, cu cât această limitare a curentului de scurtcircuit este mai pronunțată, cu atât sunt mai mari supratensiunile care apar în circuitul întrerupt.

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

Prin limitarea curentului de șoc la valoarea i_{lt} , Fig.3.4, siguranțele fuzibile cu efect de limitare asigură protecția instalațiilor și împotriva efectelor electrodinamice ale curenților de scurtcircuit.

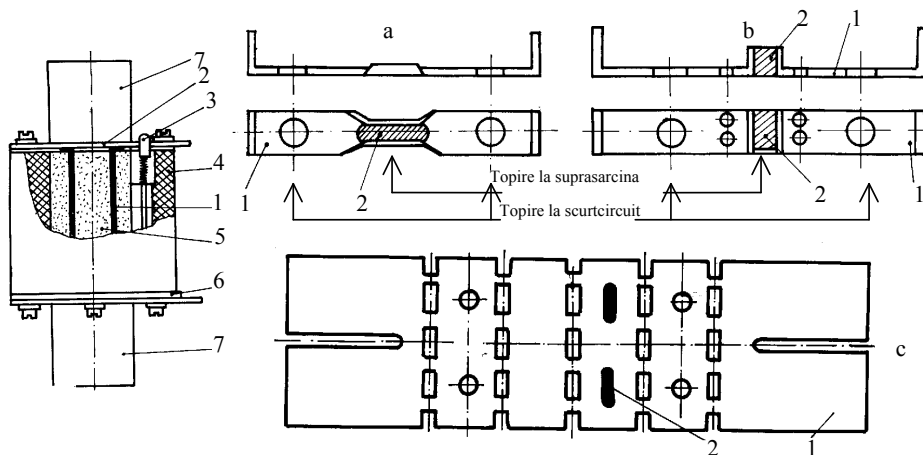
2. Construcția și funcționarea siguranțelor fuzibile

În instalațiile de joasă tensiune se folosesc siguranțe fuzibile realizate într-o mare varietate de tipuri constructive, dintre care se desprind trei categorii principale și anume:

- siguranțe fuzibile cu mare putere de rupere (MPR), folosite în instalații industriale pentru curenți nominali de 10 (20)...1000 A și capacitate de rupere nominală de zeci de kiloamperi;
- siguranțe fuzibile cu filet, folosite în instalații industriale și casnice, având intensitatea curentului nominal de 4...100 A și capacitatea de rupere de maximum 35 kA;
- siguranțe fuzibile miniatură, utilizate pentru protecția unor aparate electrice (redresoare și invertoare de mică putere, aparate radio și TV etc.) caracterizate prin intensități ale curentului nominal de până la 10 A (20 A) și prin capacități de rupere la scurtcircuit de până la 2 kA.

Elementul înlocuitor al unei siguranțe tip MPR, Fig.3.6, conține elementele fuzibile 1, amplasate în interiorul anvelopei de porțelan 4, umplută cu materialul granulos (nisip de cuarț) 5. Anvelopa de porțelan este etanșată cu ajutorul garniturilor 6 și al capacelor metalice 2. Pentru montarea în soclu, elementul înlocuitor are prevăzute contactele de tip cuțit 7, executate din cupru argintat. Funcționarea siguranței este semnalizată prin percutorul 3.

Elementele fuzibile 1 ale unei siguranțe de tip MPR se realizează din bandă de cupru sau argint, cu lățimi de 4...10 mm și grosimi de 0,1...0,5 mm, un element înlocuitor conținând 1...6 benzi conectate în paralel.

**Fig.3.6**

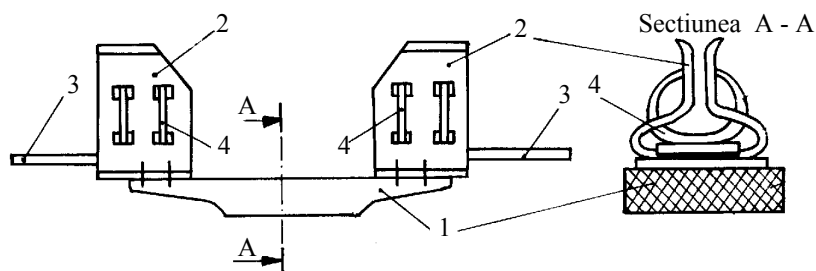
*Elementul înlocuitor al
unei siguranțe tip MPR*

Fig.3.7

*Elemente fuzibile ale unui unei siguranțe
fuzibile tip MPR*

În Fig.3.7 sunt prezentate elemente fuzibile ale siguranțelor de tip MPR. Funcționarea la scurtcircuit are loc prin topirea benzilor fuzibile 1 în dreptul perforațiilor, unde suprafața secțiunii transversale ajunge la 12...25% din suprafața maximă, iar funcționarea la suprasarcină are loc pe baza efectului metalurgic, produs ca urmare a topirii materialului ușor fuzibil (eutectic) 2.

Socul unei siguranțe fuzibile de tip MPR, Fig.3.8, este alcătuit din suportul electroizolant ceramic 1, pe care se găsesc contactele elastice 2, prevăzute cu bornele de conexiune 3. Forța de apăsare în contact este asigurată de resorturile 4.

**Fig.3.8**

Socul unei siguranțe fuzibile tip MPR

Siguranțele fuzibile cu filet, în funcție de tipul soclului, pot fi cu legături în față (LF), respectiv cu legături în spate (LS).

Siguranțele de tip LF se pot monta pe plăci metalice sau electroizolante, bare sau profile, conexiunile electrice fiind executate pe partea din față a soclului. Bornele de legătură pot fi protejate cu capac electroizolant, existând

însă și socluri neprotejate (simbolizate LFi). În Fig.3.9a este reprezentat un soclu pentru siguranțe LF, iar în Fig.3.9b - un soclu pentru siguranțe LFi.

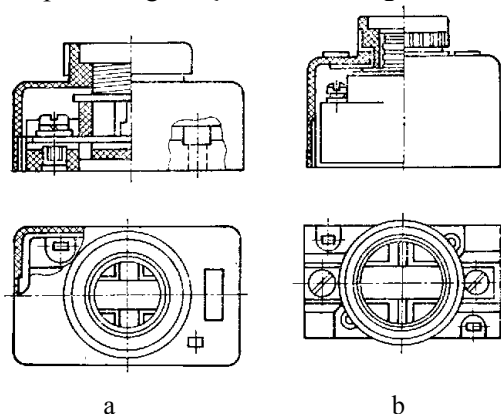


Fig.3.9

Socuri de siguranțe fuzibile cu filet

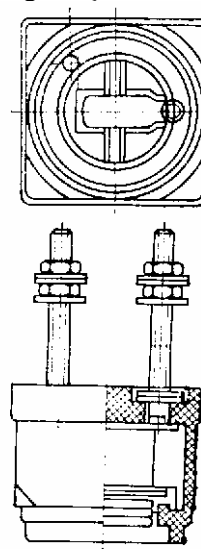


Fig.3.10

Soclu siguranță LS

Siguranțele fuzibile de tip LS se montează numai pe panouri electroizolante (marmură, azbociment) deoarece piesele de fixare mecanică pe panou servesc în același timp și ca borne pentru conexiune electrică, Fig.3.10. Se observă pe picioarele soclului două piulițe, una servind pentru fixarea mecanică a soclului pe panou, iar cealaltă, împreună cu două șaibe - pentru conectarea conductorului de legătură.

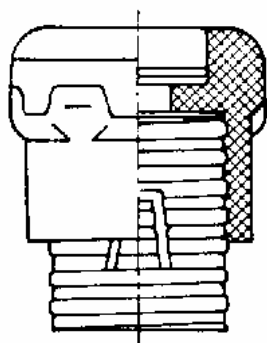


Fig.3.11

Capac filetat

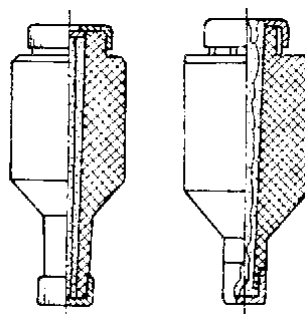


Fig.3.12

*Patroane fuzibile pentru
siguranțe LF, LFi, LS*

Socurile siguranțelor fuzibile cu filet tip LF, LFi, LS sunt prevăzute cu același tip de capac filetat, Fig.3.11, necesar fixării elementului înlocuitor. Pentru instalațiile supuse la vibrații, aceste capace se execută cu partea filetată striată, împiedicându-se astfel deșurubarea. Elementele înlocuitoare (patroanele fuzibile), Fig.3.12, sunt identice pentru diversele tipuri de socluri, dar diferă în funcție de valorile intensității curentului nominal.

În instalațiile cu tensiuni nominale mai mari de 1 kV se utilizează siguranțe fuzibile de medie tensiune, cu material de umplutură.

Siguranțele de acest tip, Fig.3.13, sunt construite din unul sau mai multe fire fuzibile 3, din cupru argintat, introduse într-un tub cilindric 1 din material izolant (porțelan, sticlă, rășini), în care se află și materialul de umplutură 5. În funcție de valoarea curentului nominal, firele fuzibile pot fi spiralate uniform pe un suport 4, Fig.3.13a,b, sau pot fi realizate sub formă de spirală liberă, Fig.3.13c. Tubul izolant este închis la capete cu ajutorul unor capace de alamă 2. Funcționarea siguranței poate fi semnalizată de o armătură specială fixată prin intermediul unui resort elicoidal de un fir indicator 6. Deoarece topirea fuzibilului este cu atât mai rapidă cu cât acesta are o secțiune mai mică, pentru curenți nominali mari se utilizează mai multe fire fuzibile conectate în paralel.

Diminuarea supratensiunilor de comutație se obține prin confecționarea firelor fuzibile cu secțiune variabilă.

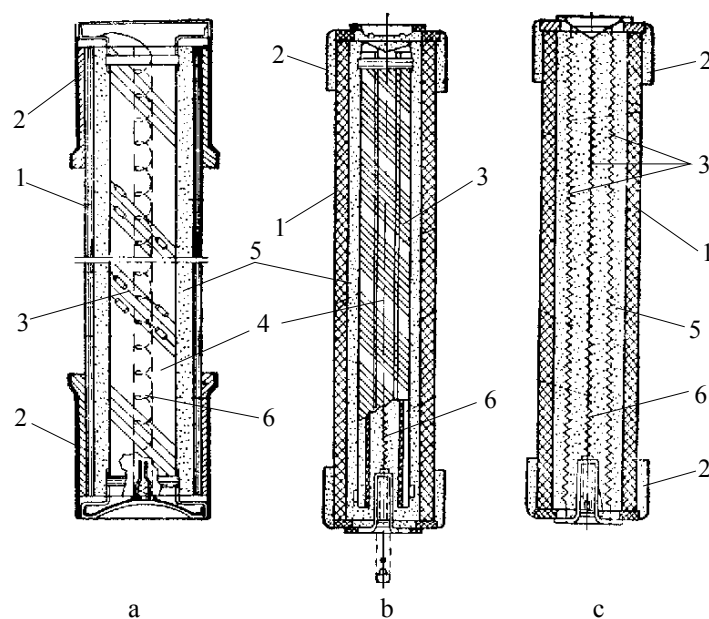


Fig.3.13

Siguranțe fuzibile cu material de umplutură

Funcționarea temporizată, pentru protecția la curenți de suprasarcină, se obține pe baza efectului metalurgic.

Pentru instalațiile de înaltă tensiune sunt cunoscute, de asemenea [1], variante constructive de siguranțe fuzibile funcționând 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 Fig.3.1. 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 Joule [2], se poate exprima sub forma:

$$\int_0^{t_{pa}} i_k^2(t) dt = s^2 \cdot K, \quad (3.3)$$

unde $i_k(t)$ este intensitatea curentului de scurtcircuit, s - suprafața secțiunii transversale a elementului fuzibil, iar K - o constantă de material (pentru cupru $11,72 \cdot 10^{16} \text{ A}^2\text{s/m}^4$, iar pentru argint $8 \cdot 10^{16} \text{ A}^2\text{s/m}^4$).

Pentru domeniul curenților de scurtcircuit în care siguranța funcționează fără efect de limitare, valoarea integralei din relația (3.3) se poate calcula prin metoda curentului echivalent de scurtcircuit, [1]. Astfel se poate scrie:

$$\int_0^{t_{pa}} i_k^2(t) dt = I_k^{n^2} (m + n) t_{pa}, \quad (3.4)$$

I_k^n fiind valoarea efectivă a intensității curentului de scurtcircuit simetric inițial, iar m, n - coeficienții de corecție.

Dacă pe durata de prearc valoarea efectivă a intensității supracurentului este constantă, I_{sc} , relația (3.3) devine de forma:

$$I_{sc}^2 \cdot t_{pa} = s^2 \cdot K, \quad (3.5)$$

de unde, ținând seama de (3.2), se obține:

$$t_{pa} = \frac{s^2 \cdot K}{I_*^2 \cdot I_{f \min}^2}. \quad (3.6)$$

3. Programul lucrării

3.1. Studiul construcției siguranțelor fuzibile

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

3.2. Schema electrică și standul experimental

Cu ajutorul montajului având schema electrică prezentată în Fig.3.14 și a unui instrument virtual de achiziție a datelor se obțin și se înregistrează datele experimentale, respectiv se trasează curba de protecție timp-curent pentru siguranțele fuzibile verificate.

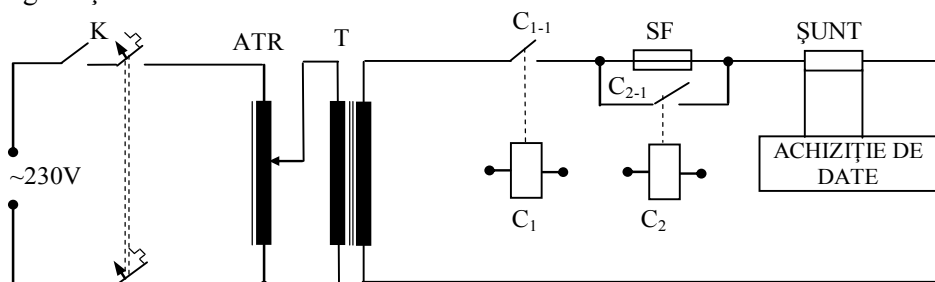


Fig.3.14

Schema electrică a standului

Standul experimental preia, printr-un sistem de achiziție de date, informații despre curentul care trece prin siguranțele fuzibile și timpul de funcționare al acestora, convertindu-le corespunzător, în scopul afișării pe panoul de comandă al standului, precum și pentru transmiterea către un calculator ce permite afișarea grafică a caracteristicii de protecție (de topire) timp-curent a siguranțelor fuzibile, respectiv asigură memorarea datelor culese.

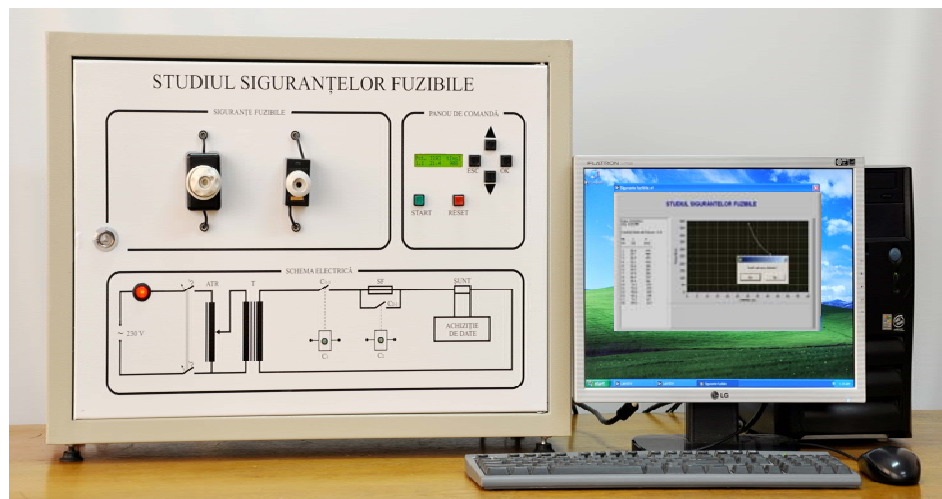


Fig.3.15

Instalația experimentală

Pentru legătura cu instrumentul virtual (aplicație software concepută în mediul de programare LabVIEW) standul a fost echipat cu o interfață serială RS232, prin intermediul căreia setările realizate de la panoul de comandă al standului sunt transmise către calculator, Fig.3.15. Instrumentul virtual permite culegerea datelor de la standul experimental, prelucrarea acestora și afișarea sub formă grafică, la finalul încercărilor, a caracteristicii timp-curent.

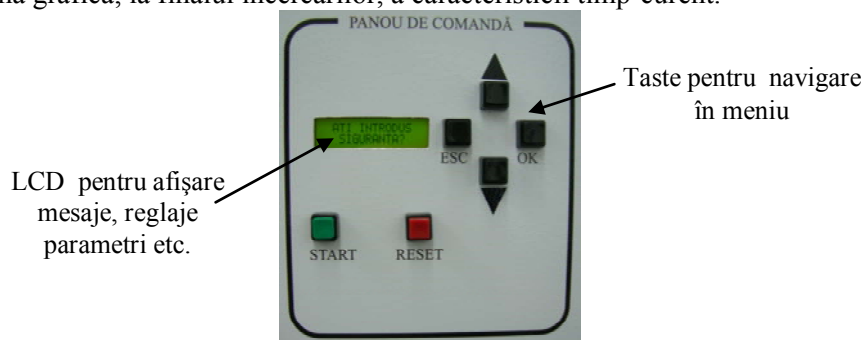


Fig.3.16

Panoul de comandă și control

Prin intermediul panoului de comandă și control al standului (taste și afișaj alfa-numeric) se stabilește numărul de puncte achiziționate, curentul minim de fuziune etc., Fig.3.16. În Anexa 1.C este prezentat meniul interfeței dintre standul experimental și utilizator.

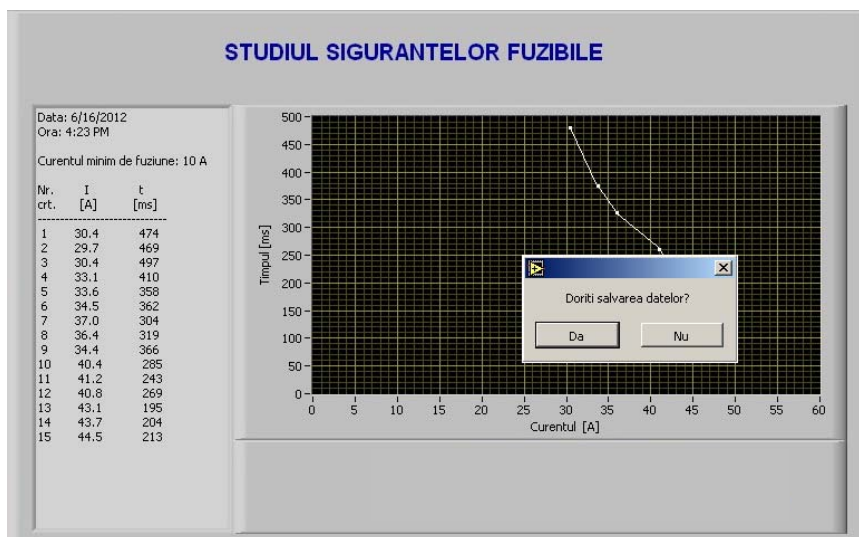


Fig.3.17

Afișarea grafică a parametrilor achiziționați

În momentul dării comenzii pentru achiziționarea datelor, aplicația software începe să înregistreze și să prelucreze informațiile primite, iar pe pagina de start apare curentul minim de fuziune, respectiv valorile numerice ale curentului și timpului, achiziționate la fiecare încercare. După finalizarea procesului de achiziție a datelor instrumentul virtual realizează o reprezentare grafică a caracteristicii timp-curent a siguranței fuzibile, respectiv oferă utilizatorului posibilitatea de salvare a datelor într-un fișier text, Fig.3.17.

Ulterior, datele salvate pot fi prelucrate în programe de calcul tabelar, cum ar fi MS Excel.

3.3. Determinarea experimentală a caracteristicii de protecție

Pentru siguranța fuzibilă cu filet SF se confecționează n elemente înlocuitoare, fiecare cu elementul fuzibil constituit dintr-un fir de cupru, al cărui diametru d_c se măsoară cu micrometrul (n fiind un număr precizat de către conducătorul lucrării).

Cu relația (3.1) se calculează intensitatea $I_{f\ min}$ a curentului minim de fuziune, considerând pentru fuzibilul funcționând în aer $\alpha_t = 150...250\ W/m^2\ ^\circ C$.

Determinările experimentale se vor realiza în următoarea ordine:

- se asigură conectarea interfetei seriale dintre stand și calculator;
- se pornește calculatorul și se deschide aplicația software;
- se alimentează standul experimental;
- se alege din meniu valoarea curentului minim de fuziune;
- se alege din meniu numărul de puncte de măsură;
- se trece la achiziționarea datelor;
- se reglează, de către stand, curentul de încercare în funcție de curentul minim de fuziune, ales anterior;
- se determină punctele de pe caracteristica timp-curent, astfel:
 - se montează elementul înlocuitor (patronul fuzibil) în soclul siguranței fuzibile SF;
 - standul experimental va afișa un mesaj de interogare a prezenței siguranței în soclu, respectiv a executării testului, iar pentru confirmare se apasă tasta OK;
 - se va obține curentul, respectiv timpul de topire al fuzibilului;
 - se apasă tasta OK pentru a se trece la următoarea încercare (se efectuează 3 încercări la aceeași valoare a curentului);
 - se reiau pașii anteriori (cei marcați cu •) pentru fiecare valoare a curentului;
- dacă procesul de verificare al siguranței fuzibile s-a încheiat, se dă comanda „TERMINARE LUCRARE”;
- după ce tensiunea a fost anulată, se deconectează standul.

Datele obținute se trec în Tab.3.1 pentru elemente fuzibile funcționând în aer, respectiv în nisip de cuarț. Timpul măsurat t_{pa} va fi media celor 3 timpi obținuți pentru fiecare valoare a curentului I_{sc} .

Tab.3.1

Siguranță fuzibilă cu filet, element fuzibil din cupru					
$d_c = \dots\dots\dots [\text{m}], s = \dots\dots\dots [\text{m}^2], l_p = \dots\dots\dots [\text{m}], \alpha_t = \dots\dots\dots [\text{W}/\text{m}^2\text{ }^\circ\text{C}]$					
$K = \dots\dots\dots [\text{A}^2\text{s}/\text{m}^4], I_{f\min} = \dots\dots\dots [\text{A}]$					
$I_{sc} [\text{A}]$					
$I_* = \frac{I_{sc}}{I_{f\min}}$					
$t_{pa} [\text{s}]$	Măsurat	Fuzibil în aer			
		Fuzibil în nisip			
	Calculat				

3.4. Verificarea prin calcul a caracteristicii de protecție

Cu ajutorul relației (3.6) se calculează valorile duratei de prearc corespunzătoare supracurenților la care s-au efectuat încercările experimentale în §3.3. Rezultatele obținute prin calcul se trec în Tab.3.1, comparându-se cu valorile măsurate.

4. Conținutul referatului

- ☐ Parametrii și caracteristicile constructive ale siguranțelor fuzibile existente la lucrare.
- ☐ Schema electrică a montajului utilizat pentru încercările experimentale.
- ☐ Tabelul de date completat.
- ☐ Caracteristicile de protecție timp-curent determinate experimental, respectiv prin calcul.
- ☐ Observații și concluzii.

5. Bibliografie

- [1] Adam M., Baraboi A., *Echipamente electrice (vol. II)*, Editura “Gh. Asachi” Iași, 2002.
- [2] Barbu I., *Siguranțe electrice de joasă tensiune*, Ed. Tehnică București, 1983.

Lucrarea nr. 4

Studiul descărcătoarelor electrice

1. Aspecte funcționale cu privire la descărcătoare

Descărcătoarele sunt echipamente electrice care asigură protecția izolației instalațiilor împotriva supratensiunilor.

Solicitările electrice ale izolației au următoarele cauze:

- tensiunea de serviciu, având frecvența industrială în cazul instalațiilor de c.a., solicitare de lungă durată, cu valori maxime prescrise;
- supratensiunile temporare, având durate de existență limitate, în care se depășesc valorile maxime ale tensiunii de serviciu;
- supratensiunile de comutație, reprezentând solicitări de scurtă durată, având forma unor oscilații amortizate;
- supratensiunile externe, de origine atmosferică, produse în urma descărcărilor electrice din natură (lovituri de trăsnet), având durate foarte mici și valori de vârf mari, independente de tensiunea nominală a instalației.

Pentru încercările de laborator ale izolației, supratensiunile temporare sunt asimilate cu tensiuni mărite de frecvență industrială, iar supratensiunile de comutație și cele atmosferice, cu unde de impuls de tensiune, având parametri precizați în Fig. 4.1, unde s-a notat: u_m – valoarea de vârf, T_f – durata frontului, T_{sa} – durata de semiamplitudine, O_c – originea convențională.

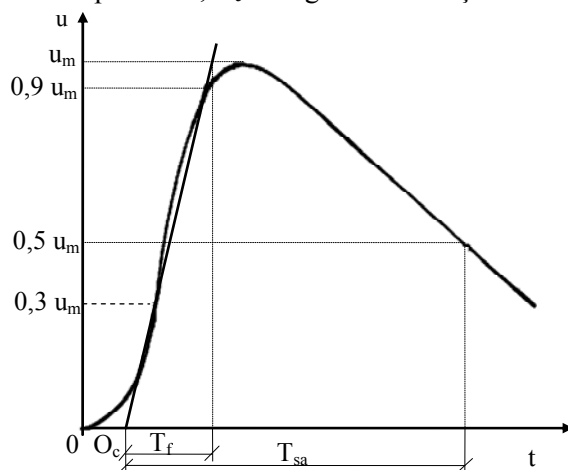


Fig.4.1

Parametrii unde de impuls de tensiune

Supratensiunile atmosferice sunt modelate prin unde normale de impuls de tensiune de 1,2/50 μs ($T_f = 1,2 \mu\text{s}$, $T_{sa} = 50 \mu\text{s}$), iar cele de comutație, cu unde de 250/2500 μs .

Tensiunea nominală de ținere (izolație) în raport cu o anumită solicitare electrică reprezintă valoarea maximă a tensiunii de încercare respective, pe care izolația o suportă fără conturnări și străpungeri; în cazul supratensiunilor de frecvență industrială (supratensiuni temporare) durata încercării este limitată de obicei la 1 minut.

Nivelul de izolație nominal al echipamentelor de înaltă tensiune se definește prin tensiunea nominală de ținere (de izolație) la undă de impuls normală de 1,2/50 μs , la care se adaugă fie tensiunea nominală de ținere la undă de impuls normală de 250/2500 μs (pentru tensiuni nominale $U_n > 300 \text{ kV}$), fie tensiunea nominală de ținere la supratensiuni de frecvență industrială (pentru tensiuni nominale $1 \text{ kV} < U_n < 300 \text{ kV}$).

În funcție de varianta constructivă, descărcătoarele electrice au rolul de a limita supratensiunile atmosferice sau atât supratensiunile atmosferice cât și pe cele de comutație la valori ale nivelului de protecție u_p , mai mici decât cele care definesc nivelul de izolație nominal; pe această cale se asigură integritatea izolației instalațiilor electrice.

2. Variante constructive de descărcătoare

2.1. Descărcătoare cu rezistență variabilă

Partea activă a unui descărcător cu rezistență variabilă (DRV) Fig. 4.2a, este constituită dintr-un număr de spații disruptive (eclatoare) 1, înseriate cu rezistența variabilă 2, conținând mai multe discuri din carbură de siliciu (carborund), înseriate electric și alcătuind o coloană.

Construcția funcționează în anvelopa de porțelan 3, prevăzută cu capacele frontale metalice 4, având rol de etanșare și servind, în același timp, drept borne de conexiuni.

În Fig. 4.2b este dată schema electrică echivalentă a unui descărcător DRV. În paralel cu eclatoarele $E_1 \dots E_4$ sunt conectate rezistoarele de egalizare $R_1 \dots R_4$, având rolul de a asigura distribuția uniformă a tensiunii pe lanțul de eclatoare; cu R_o s-a notat rezistența variabilă, element de circuit rezistiv neliniar, cu caracteristică de tip varistor.

Simbolul unui descărcător DRV, utilizat în schemele electrice, este reprezentat în Fig. 4.2c.

Caracteristica volt-ampere a discurilor este aproximabilă cu o relație de forma:

$$i = k \cdot u^\alpha, \quad (4.1)$$

unde $\alpha = 4 \dots 6$ (valori pentru carbura de siliciu) reprezintă coeficientul de neliniaritate, iar k – o constantă.

Rezistența dinamică a discurilor, R_{od} , se definește pe seama relației:

$$R_{od} = \frac{du}{di}; \quad (4.2)$$

prin diferențiere, din (4.1) se obține:

$$R_{od} = \frac{1}{\alpha \cdot k \cdot u^{\alpha-1}}. \quad (4.3)$$

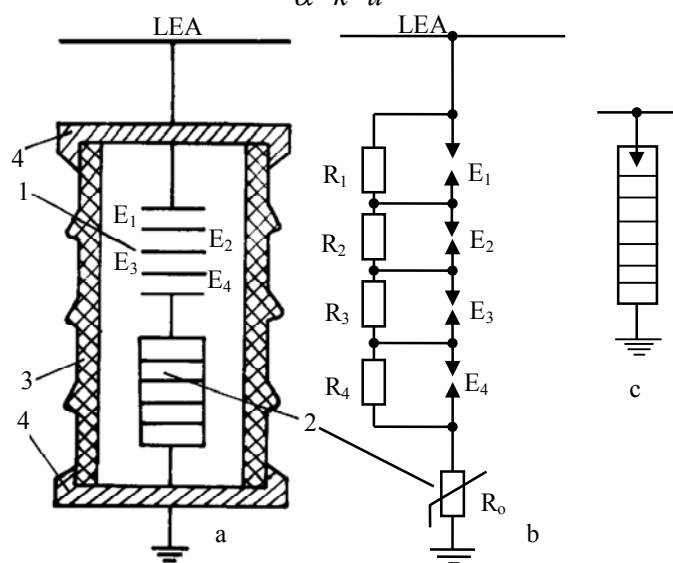


Fig.4.2

Descărcător cu rezistență variabilă

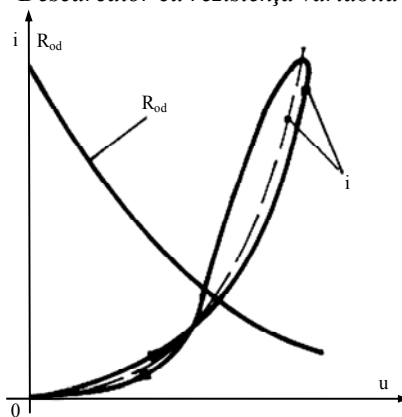
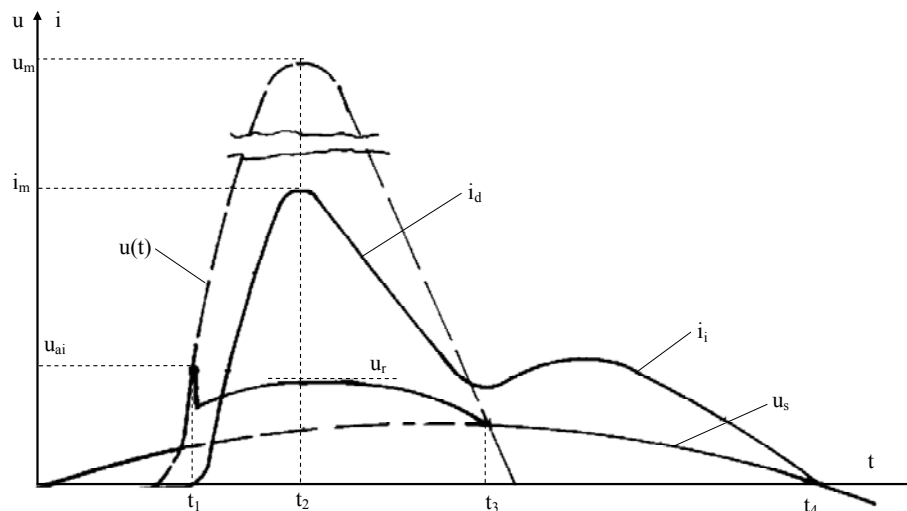


Fig.4.3

Caracteristica volt-ampere și rezistență dinamică pentru un disc de carbură de siliciu (carborund)

**Fig.4.4**

Evoluția tensiunii pe durata funcționării unui descărcător cu rezistență variabilă

În Fig.4.3 sunt reprezentate grafic curbele $i(u)$, determinate experimental și $R_{od}(u)$, calculată cu ajutorul relației (4.3).

Oscilogramele înregistrate în timpul funcționării unui descărcător DRV sunt prezentate în Fig.4.4.

În regim normal de funcționare, sub acțiunea tensiunii alternative de serviciu a liniei, $u_s(t)$, prin descărcător circulă un curent de conducție având intensitatea de 0,3 1 mA, care se închide la pământ prin capacitățile dintre electrozii eclatoarelor.

Sub acțiunea unei unde de supratensiune $u(t)$, în momentul t_1 , când se atinge tensiunea de amorsare la impuls u_{ai} , spațiile disruptive ale eclatoarelor sunt străpunse și prin descărcător circulă curentul de descărcare i_d , sarcinile electrice corespunzătoare unde de supratensiune fiind conduse la pământ.

Valorile mari ale tensiunii aplicate descărcătorului determină un punct de funcționare corespunzător unor valori mici ale rezistenței R_{od} , Fig. 4.3, unda de supratensiune fiind limitată în amplitudine. Valoarea maximă, u_r , a tensiunii la bornele descărcătorului după amorsare, se numește tensiune reziduală.

Începând din momentul t_3 , sub acțiunea tensiunii alternative de serviciu, $u_s(t)$, a liniei, în canalele descărcării inițiale dintre eclatoare se dezvoltă descărcări prin arc electric, parcurse de curentul de însoțire, i_i . Intensitatea acestui curent este limitată prin creșterea rezistenței R_{od} a discurilor de carbură de siliciu, încât în momentul t_4 , la prima sa anulare, se obține stingerea definitivă a arcului electric amorsat la eclatoare și revenirea descărcătorului în starea inițială.

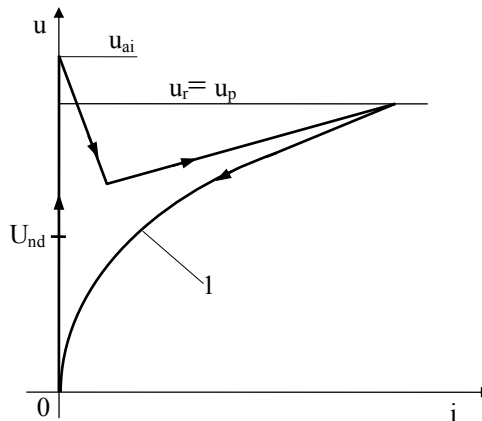


Fig.4.5

Caracteristica volt-ampere a descărcătorului cu rezistență variabilă

Se constată că, în urma funcționării descărcătorului, unda de supratensiune $u(t)$ având valoarea de vârf u_m , Fig.4.4, este limitată în amplitudine. Caracteristica volt-ampere specifică funcționării unui descărcător DRV este reprezentată în Fig.4.5, unde, în acest caz, $u_p = u_r$ reprezintă nivelul de protecție, u_r fiind tensiunea reziduală, U_{nd} – tensiunea nominală a descărcătorului, u_{ai} – tensiunea de amorsare la impuls pe frontul undei, 1 – caracteristica volt-ampere a discurilor de carbură de siliciu.

2.2. Descărcătoare cu rezistență variabilă și suflaj magnetic

Descărcătoarele electrice pentru tensiuni foarte înalte, care trebuie să facă față atât supratensiunilor atmosferice cât și de comutație, se realizează cu suflaj magnetic pentru stingerea arcului electric.

Construcția unui asemenea descărcător, Fig.4.6, cuprinde rezistoarele neliniare de tip varistor R_0, R_1, R_2 , inseriate cu lanțul de eclatoare E. În paralel cu R_1, R_2 și lanțul de eclatoare E este conectată rezistența lineară de egalizare R_e . Bobinele destinate suflajului magnetic, de inductanțe L_1, L_2 , sunt conectate în paralel cu rezistențele R_1, R_2 . În Fig.4.6a sunt prezentate evoluția curentului și a tensiunii pe durata funcționării unui descărcător cu suflaj magnetic, iar în Fig.4.6b...e, patru situații specifice care caracterizează funcționarea acestuia.

În situație normală, Fig.4.6b, sub tensiunea de serviciu a liniei, u_s , prin descărcător circulă un curent i_s , având valori de ordinul miliamperilor, ce trece prin rezistența de egalizare R_e .

Sub acțiunea unei unde de supratensiune, Fig.4.6c, spațiile disruptive ale eclatoarelor E sunt străpunse și prin descărcător circulă curentul de descărcare i_d , prin care sunt conduse la pământ sarcinile electrice

corespunzătoare unei de supratensiune. Datorită valorilor mari ale tensiunii de impuls aplicate, rezistențele dinamice ale discurilor de carborund au valori mici, Fig.4.3. În același timp, reactanțele inductive ale bobinelor de suflaj sunt de valori mari, determinate de frecvențele înalte ale componentelor spectrului armonic ale curentului de descărcare i_d .

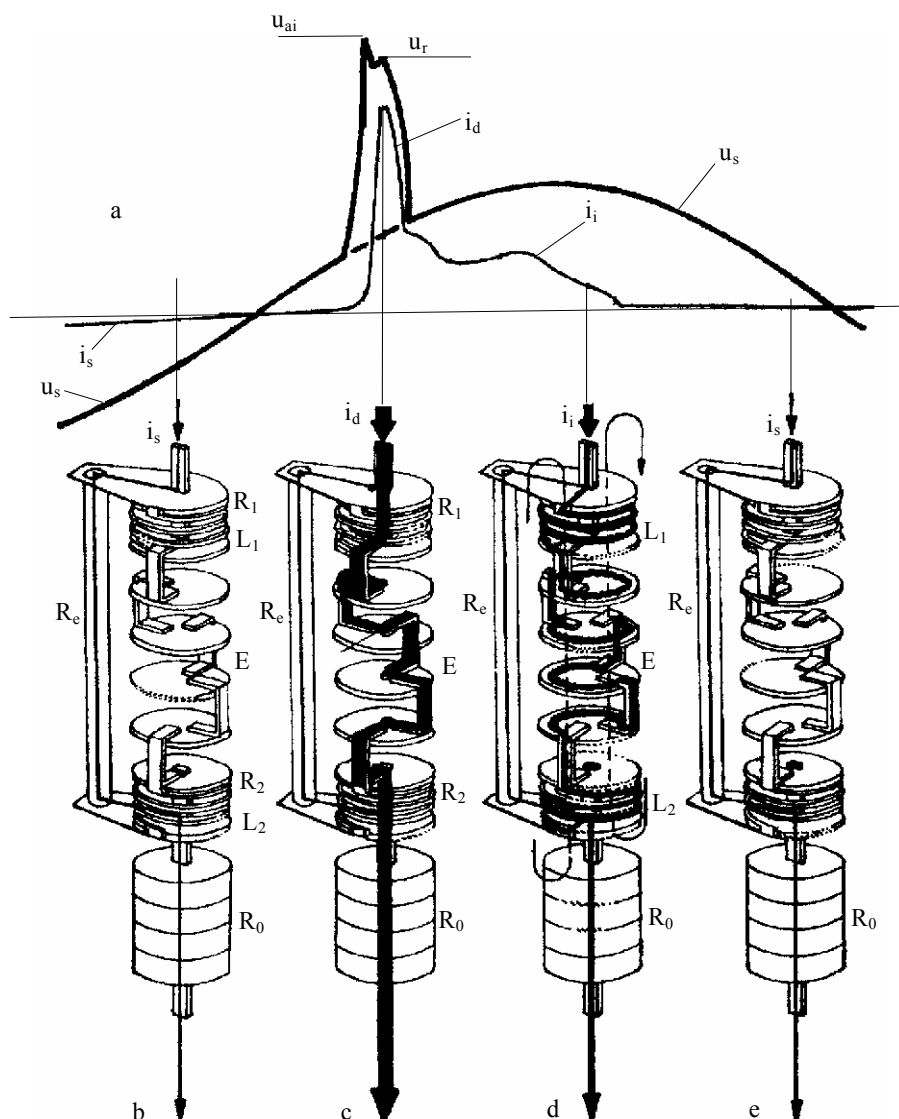


Fig.4.6

Descărcător cu rezistență variabilă și suflaj magnetic

În aceste condiții, curentul de descărcare se închide practic pe traseul R_1, R_2, R_0 , Fig.4.6c.

După limitarea în amplitudine a undei de supratensiune, prin canalul descărcărilor inițiale dintre electrozii eclatoarelor se dezvoltă o descărcare prin arc electric, parcursă de curentul de însoțire i_s , Fig.4.6d, produs la rândul lui de tensiunea de serviciu a liniei, u_s , de frecvență industrială.

Intensitatea curentului de însoțire este limitată de rezistoarele neliniare R_1, R_2, R_0 la valori de câteva sute de amperi, datorită faptului că rezistența dinamică a acestora a crescut pe seama scăderii tensiunii aplicate descărcătorului. Astfel, curentul de însoțire circulă aproape în întregime pe traseul L_1, L_2, R_0 , Fig.4.6d, deoarece, la frecvență industrială, reactanțele inductive ale bobinelor de suflaj se micșorează.

Bobinele de suflaj, parcurse de curentul de însoțire, produc în zona eclatoarelor un câmp magnetic, încât asupra fiecărei coloane se exercită acțiuni ale unor forțe electrodinamice. Acestea obligă arcul electric să pătrundă în camere de stingere cu fantă îngustă asigurându-se întreruperea curentului de însoțire înainte de trecerea lui prin zero, Fig.4.6e.

Caracteristica volt-ampere corespunzătoare funcționării unui descărcător cu rezistență variabilă și suflaj magnetic este dată în Fig.4.7, notațiile având aceleași semnificații ca și în cazul Fig.4.5.

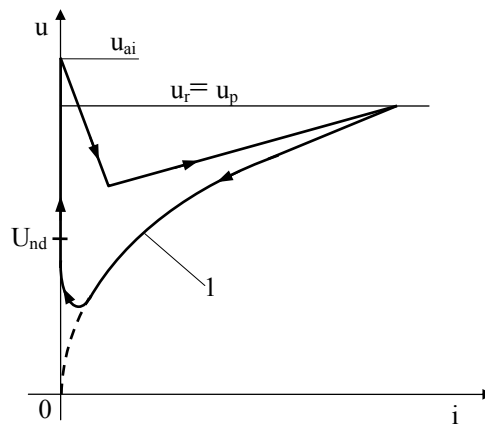


Fig.4.7

Caracteristica volt-ampere a unui descărcător cu suflaj magnetic

2.3. Descărcătoare cu oxizi metalici

Construcția și funcționarea descărcătoarelor cu oxizi metalici se bazează pe utilizarea, ca element cu caracteristică de tip varistor, a unui material ceramic obținut prin sinterizare din oxizi metalici (ZnO , Bi_2O_3 , CoO etc.). Structura

masei sinterizate este aproape matriceală, Fig.4.8a, conținând granule de ZnO, cu o bună conductivitate electrică, înconjurate de o peliculă formată din Bi_2O_3 , care dă caracterul puternic neliniar al conducției electrice printr-un astfel de material.

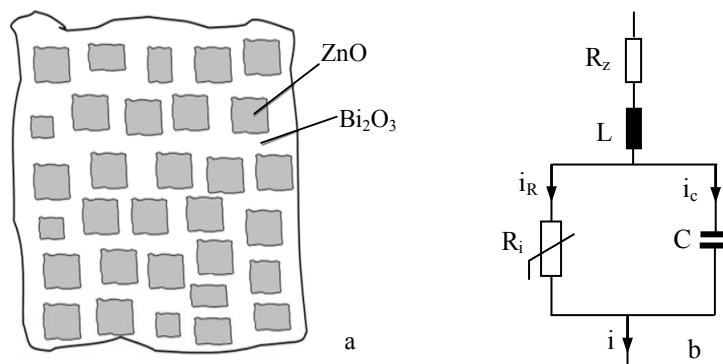


Fig.4.8

Structura și schema electrică echivalentă a unui disc cu oxizi metalici

Discul din ZnO poate fi reprezentat prin circuitul electric echivalent din Fig.4.8b, unde R_i reprezintă rezistența neliniară a straturilor intergranulare a căror rezistivitate variază între 10^8 și $10^{-2} \Omega\text{m}$, în funcție de intensitatea câmpului electric. Stratul intergranular, de capacitate C , are o constantă dielectrică relativă cuprinsă între 500 și 1200, în funcție de procesul de fabricație. Granulele de ZnO, cu rezistivitatea de circa $0,01 \Omega\text{m}$, au rezistența R_z . Discul din oxizi metalici are inductanța proprie L , determinată de geometria căii de descărcare a curentului prin disc.

Caracteristica volt-amper a discurilor astfel obținute, reprezentată grafic în Fig.4.9, este aproximabilă cu o relație de forma (4.1), coeficientul de neliniaritate având valori $\alpha > 20$. În aceste condiții, în construcția descărcătorului nu mai sunt necesare spațiile disruptive ale eclatoarelor și nici rezistoarele de egalizare.

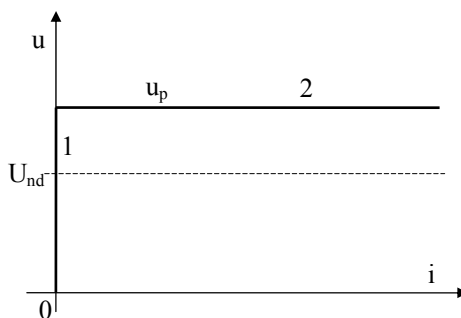
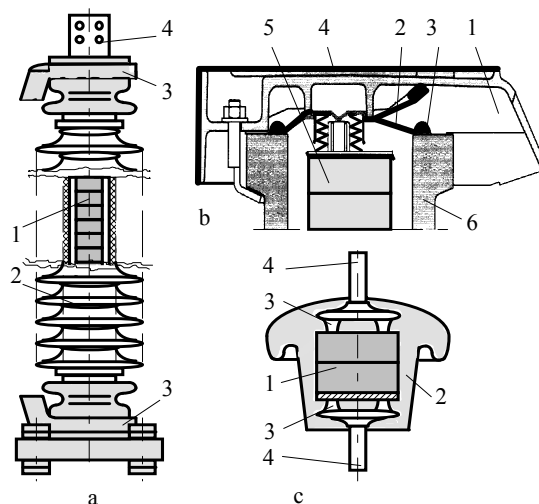


Fig.4.9

Caracteristica volt-amper ideală

**Fig.4.10**

Descărcătoare cu ZnO: a- de înaltă tensiune; b- construcția dispozitivului de etanșare de medie tensiune.

În Fig.4.10a este prezentată construcția unui descărcător cu oxid de zinc, destinat funcționării în rețele de 110 kV. Partea activă, constituită din coloana rezistivă 1, este protejată în anvelopa 2, realizată din material compozit, prevăzută la capete cu dispozitivele de etanșare 3 și borna de conexiuni 4.

Construcția dispozitivului de etanșare și protecție este dată în Fig.4.10b. Supapa de etanșare 2 este excentric fixată pe flanșa 4 și, prin forța pe care o exercită asupra garniturii inelare de cauciuc 3, închide ermetic anvelopa de porțelan 6. Supapa 2 acționează, de asemenea, ca sistem de protecție la defecte interne ale descărcătorului, însoțite de creșterea presiunii în anvelopa de porțelan. Astfel, dacă în interiorul anvelopei 6 apare o suprapresiune, aceasta supapă se deschide și gazul ionizat din interior este eșapat prin canalul de ventilare 1. Dispozitivele de etanșare de la capetele anvelopei de porțelan au canalele de ventilare orientate după direcția liniei de fugă pe suprafața exterioară a izolatorului (Fig.4.10a). Fluxurile de gaz ionizat inițiază conturnarea acestuia, sesizată de protecția contra punerilor monofazate la pământ, care intervine; se evită astfel distrugerea prin explozie a descărcătorului. În unele construcții destinate instalațiilor de medie tensiune (Fig.4.10c), anvelopa electroizolantă este înlocuită printr-o rășină sintetică, turnată direct pe coloana varistor.

Descărcătoarele cu oxizi metalici prezintă, față de tehnica clasică, o serie de avantaje precum:

- simplitate constructivă, gabarit redus și fiabilitate sporită prin eliminarea eclatoarelor și a rezistențelor de egalizare;
- nivelul de protecție este cu circa 20% mai mic decât în cazul tehnicii clasice;

- stabilitate foarte bună a caracteristicii de protecție tensiune-timp.

Drept dezavantaje ale tehnicii pe bază de ZnO se poate menționa creșterea puterii consumate în regim normal de funcționare odată cu mărirea temperaturii; de asemenea, eliminarea eclatoarelor semnifică existența, cel puțin teoretică, a unui pericol de ambalare termică datorită trecerii continue a unui curent de ordinul 1...2 mA prin varistoare.

3. Programul lucrării

3.1. Standul experimental

Cu ajutorul montajului având schema electrică reprezentată grafic în Fig.4.11 și a unui instrument virtual de achiziție a datelor, se înregistrează și se prelucrează software caracteristica volt-ampere corespunzătoare discurilor descărcătoarelor din oxizi metalici și din carbură de siliciu.

Standul experimental va prelua, printr-un sistem de achiziții de date, diverse informații (curentul care circulă prin discuri, tensiunea aplicată acestora etc.) pe care le va converti în mod corespunzător pentru a putea fi afișate pe panoul de comandă al standului precum și pentru transmiterea către un calculator. Astfel, standul a fost echipat cu o interfață serială RS232 prin intermediul căreia setările realizate de la panoul de comandă al standului sunt transmise către calculator, Fig.4.12. În mediul de programare LabVIEW a fost realizat un instrument virtual ce permite utilizatorului să prelucreze și să afișeze rezultatele obținute sub forma unor diagrame. Totodată, aplicația software dă posibilitatea salvării, sub formă tabelară într-un fișier de tip text (.txt), a datelor achiziționate.

Panoul de comandă și control al standului (taste și afișaj alfa-numeric) oferă posibilitatea utilizatorului să realizeze diverse setări ale standului și să obțină diverse informații cu privire la discul analizat, numărul de puncte de măsură etc. prin parcurgerea meniului interfeței, Fig.4.13.

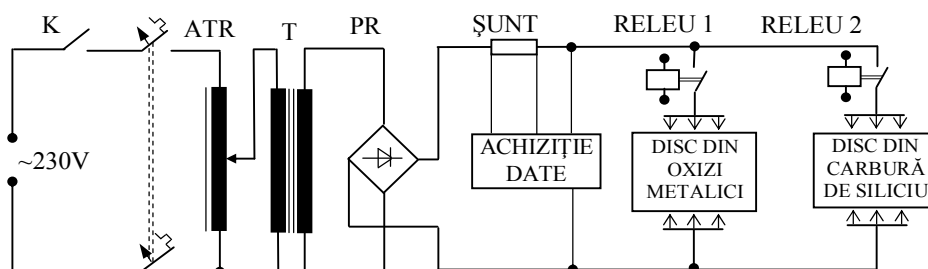
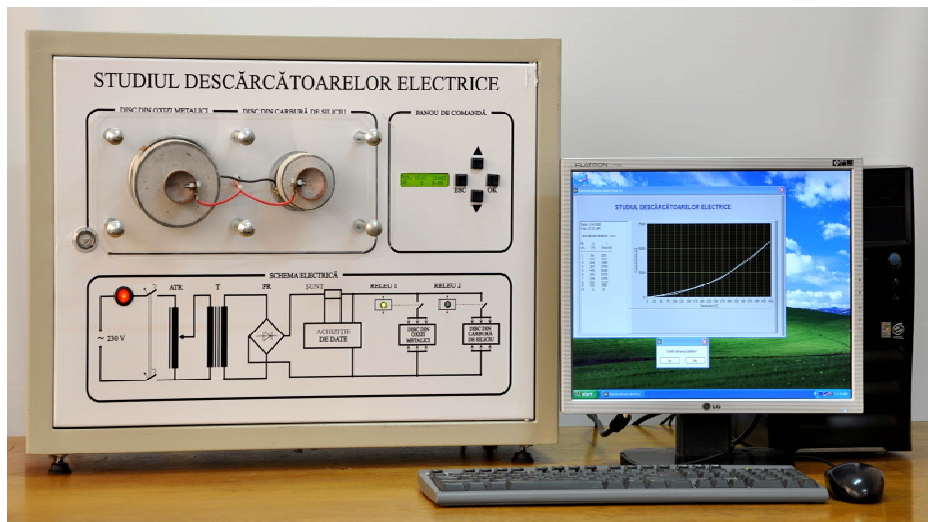
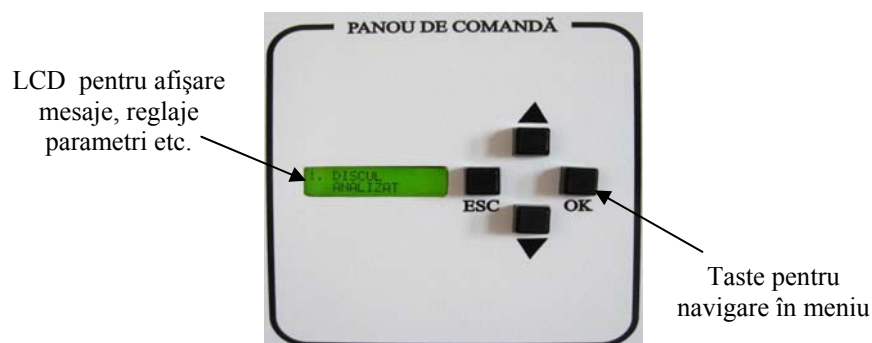


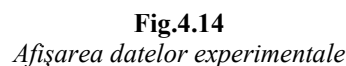
Fig.4.11

Schema electrică a standului

**Fig.4.12***Instalația experimentală***Fig.4.13***Panoul de comandă și control*

În Anexa 1.D este prezentat meniul interfeței dintre standul experimental și utilizator.

După alegerea discului analizat și a numărului de puncte de măsură se trece la achiziționarea propriu zisă a valorilor curentului și tensiunii. Programul va începe să înregistreze și să prelucreze informațiile primite, iar pe pagina de start va apărea tipul discului analizat, valorile numerice ale tensiunii și curentului. La terminarea tuturor punctelor de analizat instrumentul virtual realizează o reprezentare grafică a caracteristicii volt-ampere a discului analizat. Achiziționarea datelor se execută prin apăsarea butonului OK de pe panoul de comandă al standului, această operațiune repetându-se până la terminarea numărului de puncte care trebuiesc achiziționate.



3.2. Studiul construcției descărcătoarelor existente la lucrare

3.3. Determinarea experimentală a caracteristicii volt-amper pentru un disc din ZnO, respectiv SiC

Tab.4.1

[illegible]

.	.	.	.	.	.	.	.	.		
.	.	.	.	.	.	.	.	.		
.	.	.	.	.	.	.	.	.		
.	.	.	.	.	.	.	.	.		
n										

3.4. Calculul parametrilor k și α

Caracteristicile volt-ampere determinate experimental la §3.3 se aproximează cu funcția (4.1). Din Tab.4.1 se aleg două puncte de funcționare, suficient de îndepărtate, de coordonate (U_1, I_1) , (U_2, I_2) , cu care se formează sistemul de ecuații:

$$I_1 = k \cdot U_1^\alpha, \quad I_2 = k \cdot U_2^\alpha; \quad (4.4)$$

rezolvând sistemul de ecuații (4.4), se determină valorile parametrilor k și α , atât pentru discul din ZnO cât și pentru cel din SiC, care se trec în Tab.4.1.

3.5. Determinarea rezistențelor discurilor din SiC și ZnO

Cu datele obținute la §3.3 și conținute în tabele, se calculează valorile rezistenței statice, R_o , dată de relația:

$$R_o = \frac{U}{I} \quad (4.5)$$

și cele corespunzătoare rezistenței dinamice, R_{od} , ale discurilor din ZnO și SiC.

Pentru determinarea rezistenței dinamice, relația (4.2) se consideră în diferențe finite, sub forma:

$$R_{od} = \frac{\Delta U}{\Delta I}. \quad (4.6)$$

Rezultatele obținute se consemnează în tabelele de date.

3.6. Determinarea prin calcul a caracteristicilor discurilor din carbură de siliciu și oxid de zinc

Utilizând relațiile (4.1), (4.3), (4.5) și valorile parametrilor k și α , pentru fiecare valoare a tensiunii din Tab.4.1 se calculează intensitatea I a curentului prin discuri precum și valorile rezistențelor R_o , R_{od} ale acestora. Rezultatele obținute se trec în tabelele de date.

4. Conținutul referatului

- ❑ Schema electrică a montajului utilizat pentru încercările experimentale.
- ❑ Tabelele de forma Tab.4.1, cu datele prelucrate.
- ❑ Trasate grafic, curbele $I(U)$, $R_o(U)$, $R_{od}(U)$, determinate experimental, respectiv prin calcul.
- ❑ Observații și concluzii privind construcția și parametrii nominali ai descărcătoarelor studiate

5. Bibliografie

- [1] Baraboi A., Adam M., *Echipamente electrice (vol. I)*, Editura “Gh. Asachi” Iași, 2002.
- [2] Adam M., Baraboi A., *Echipamente electrice (vol. II)*, Editura “Gh. Asachi” Iași, 2002.

Lucrarea nr. 5

Relee de timp

1. Generalități

Releele de timp sunt echipamente care realizează o comandă în circuitul de ieșire după un anumit interval de timp reglabil, înregistrat din momentul modificării semnalului de intrare.

Releele de timp pot fi realizate cu temporizare la acționare sau la revenire, după cum modificarea semnalului de intrare constă în aplicarea unei tensiuni în circuitele de intrare, respectiv în întreruperea acesteia.

În momentul expirării temporizării reglate t_R , contactele de ieșire ale releelor cu temporizare la acționare părăsesc starea normală, iar cele corespunzătoare releelor cu temporizare la revenire, revin în această stare (starea normală a contactelor corespunde circuitelor de intrare neexcitate). În condițiile menționate, contactele de ieșire ale releelor de timp pot fi normal deschise și/sau închise, cu temporizare la deschidere și/sau la închidere.

Simbolurile utilizate în schemele electrice, reprezentate grafic în Fig.5.1, au următoarele semnificații: a_1, a_2 - contacte normal deschise cu temporizare la închidere; b_1, b_2 - contacte normal deschise cu temporizare la deschidere; c_1, c_2 - contacte normal închise cu temporizare la deschidere; d_1, d_2 - contacte normal închise cu temporizare la închidere; e - contact normal deschis temporizat la închidere și deschidere; f - ansamblu de contacte temporizate la deschidere; g - relee de timp cu acționare electromagnetică, având un contact normal deschis cu temporizare la închidere.

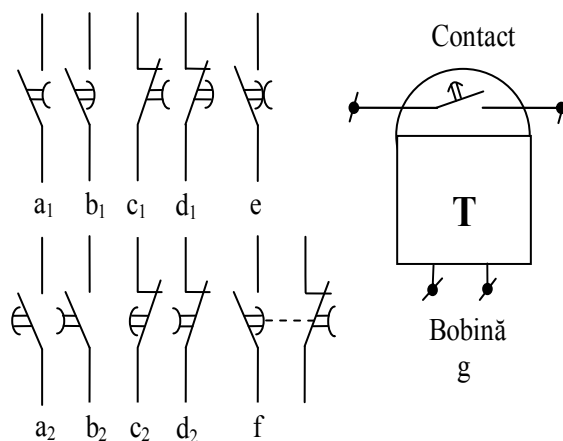


Fig.5.1

Simboluri utilizate în schemele electrice cu rele de timp

Orice releu de timp conține următoarele componente funcționale:

- elementul sensibil, având rolul de a converti semnalul electric de intrare (în mod obișnuit tensiune continuă sau alternativă) într-un semnal eventual de altă natură, necesar funcționării elementului de temporizare;
- elementul de temporizare, prin care se realizează întârzierea transmiterii comenzii aplicate la intrare;
- elementul de execuție, la nivelul căruia se obține semnalul de ieșire, după funcționarea elementului de temporizare.

Clasificarea releelor de timp se poate face după tipul elementului de temporizare, în acest sens fiind cunoscute relee cu temporizare mecanică, hidraulică, pneumatică, electrotermică, electrică etc.

2. Construcția și funcționarea releelor de timp

2.1. Relee cu temporizare mecanică

Elementul sensibil al unui releu cu temporizare mecanică realizează conversia electromecanică a energiei semnalului de intrare, necesară funcționării elementului de temporizare. Din această categorie de relee de timp fac parte cele cu element sensibil de tip electromagnet sau micromotor electric, elementul de temporizare aferent fiind un mecanism de orologerie, respectiv un reductor de turație.

În Fig.5.2.a este prezentată construcția releului de timp tip RTpa-5, cu mecanism de orologerie.

Elementul sensibil, de intrare, al releului este constituit dintr-un electromagnet de c.c., având bobina 1-2 și armătura mobilă 7. Temporizarea se obține prin funcționarea mecanismului de orologerie 8, prevăzut la ieșire cu axul 9 și piesa electroizolantă 10, pe care sunt amplasate contactele mobile de tip punte 15, 16.

Releul RTpa-5 funcționează cu temporizare la acționare și are următoarele contacte de ieșire:

- a) 11-12, contact normal deschis cu temporizare la închidere;
- b) 13-14, contact pasager, care se închide atât la acționare cât și la revenire;
- c) 3-4, 3-6, contacte cu pol comun și acționare instantanee.

Schema electrică a releului RTpa-5, realizat în variantă debroșabilă (cu soclu și fișă) este dată în Fig.5.2.b. Contactul 3-6 și rezistența R_e se conectează ca în Fig.5.2.a, astfel încât electromagnetul de intrare să funcționeze cu rezistență economizoare.

Prin închiderea comutatorului K, Fig.5.2.a, tensiunea de intrare se aplică integral bobinei 1-2, rezistența economizoare R_e fiind șuntată cu contactul normal închis 3-6; la capătul cursei de acționare, armătura mobilă 7 deschide contactul 3-6, astfel încât rezistența economizoare R_e este conectată în serie cu

bobina 1-2. În acest fel se limitează curentul absorbit de bobină la valoarea necesară menținerii electromagnetului în poziția acționat, fiind posibile forțarea regimului tranzitoriu de acționare a electromagnetului de intrare al releului și micșorarea consumului propriu în regim permanent.

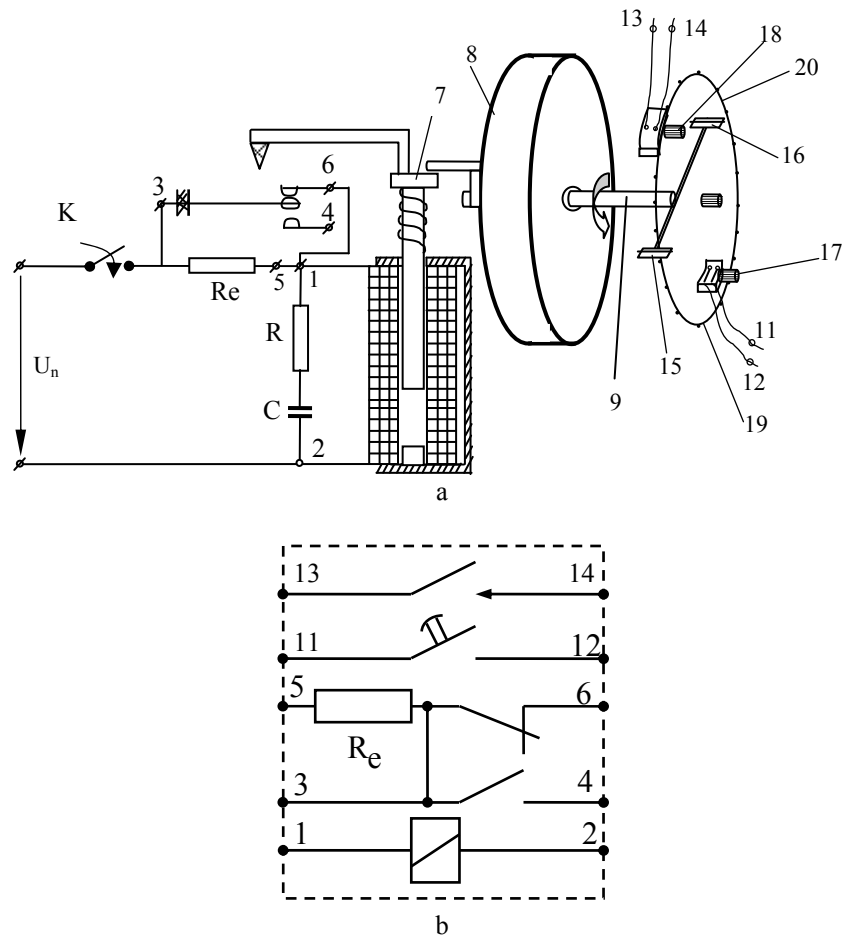


Fig.5.2

Releu de timp cu mecanism de orologerie: a-construcție; b-schema electrică.

Prin deplasarea, la acționare, a armăturii mobile 7 se eliberează mecanismul de orologerie 8, astfel încât axul de ieșire 9 se rotește cu o turație de valoare mică și constantă până când puntea mobilă de contact 15 închide contactul normal deschis cu temporizare la închidere 11-12. În continuare releul rămâne în această stare până la întreruperea tensiunii de intrare, când se revine la poziția inițială. Deoarece poziția inițială a contactelor mobile 15, 16 este fixă, temporizarea reglată t_R se modifică prin intermediul cursei unghiulare totale a

axului 9; în acest scop, cu ajutorul șurubului 17, contactul fix 11-12 se poziționează în mod corespunzător pe scala 19, gradată în secunde. Dacă temporizarea contactului pasager 13-14, reglată pe scala 20, este mai mică în valoare decât temporizarea t_R , puntea mobilă de contact 16 comută contactul 13-14 atât la acționarea cât și la revenirea releului.

Grupul RC, conectat în paralel cu bobina 1-2, limitează supratensiunile de comutație, [1].

Caracteristicile tehnice ale releului RTpa-5 sunt prezentate în Tab.5.1.

Tab.5.1

Nr. crt.	Denumirea	Tipul releului: RTpa-5	
1	Tensiunea nominală a bobinei, U_n [V]	24, 48, 60, 110, 220	
2	Rezistența ohmică a bobinei, R [Ω]	20, 80, 120, 450, 1750	
3	Tensiunea minimă de acționare [V]	$0,75 U_n$	
4	Abateri admisibile la etalonarea scalei	Scala, [s]	Eroarea admisibilă, [s]
		0,1 1,3	0,06
		0,25 3,5	0,12
		0,50... .. 9	0,25
		2 20	0,80
5	Capacitatea de comutare a contactelor, [A], la închidere/deschidere	5/0,5 în c.c. 5/2 în c.a.	

Aceste rele de timp au o utilizare din ce în ce mai mică datorită dimensiunilor mari și a caracteristicilor tehnice limitate.

Temporizarea maximă a releelor de timp cu mecanism de orologerie nu poate depăși câteva zeci de secunde; pentru obținerea unor temporizări mai mari, se construiesc rele cu micromotor electric și reductor de turație. Schema bloc a unui astfel de releu, funcționând cu temporizare la acționare, este prezentată în Fig. 5.3.

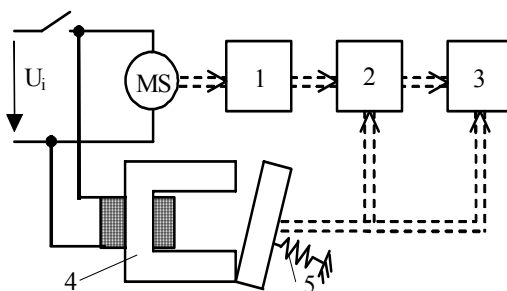


Fig.5.3

Schema bloc a unui releu de timp cu micromotor și reductor de turație

La aplicarea tensiunii alternative de intrare U_i , simultan cu pornirea micromotorului MS acționează electromagnetul auxiliar 4, care închide cupla mecanică 2 și armează resortul de acționare al contactelor mobile, conținute în blocul 3, de contacte temporizate. Indiferent de temporizarea reglată t_R , axul de ieșire al cuplei 2 se rotește cu un unghi de cel mult 360° , la capătul acestei curse unghiulare obținându-se comanda mecanică de comutare a contactelor din blocul 3; simultan, cupla 2 se desface.

Contactele păstrează starea de după acționare până la întreruperea semnalului de intrare când, prin revenirea electromagnetului 4, acestea sunt aduse în poziția inițială.

Reglarea temporizării se face în trepte, prin intermediul raportului de demultiplicare al reductorului de turație 1 și continuu, prin modificarea unghiului total de rotație al axului de ieșire al cuplei 2.

Din această categorie fac parte și releele RTpa-7, cu temporizare la acționare, respectiv RTpr-7, cu temporizare la revenire. Caracteristicile tehnice ale releului RTpa-7 sunt prezentate în Tab.5.2.

Tab.5.2

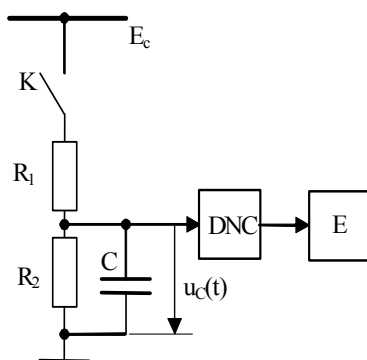
Nr. crt.	Denumirea	Tipul releului: RTpa-7	
1	Tensiunea nominală a bobinei U_n [V]	24, 110, 220 Vc.a. 50 Hz	
2	Tensiunea minimă de acționare [V]	$0,75 U_n$	
3	Abateri admisibile la etalonarea scalei	Scala, [s]	Eroarea admisibilă, [s]
		0,36	0,06
		360	0,12
		18360	0,25
		1803600	0,80
		108021600	1,25
4	Capacitatea de comutare a contactelor, [A], la închidere/deschidere	6 în c.a. 6 în c.c.	

2.2. Relee cu temporizare electrică

Temporizarea pe cale electrică se obține prin sesizarea nivelului critic al tensiunii la bornele unui condensator, care se încarcă sau se descarcă într-un circuit activ de tip RC.

Schema bloc a unui releu de timp cu temporizare RC este reprezentată grafic în Fig.5.4, unde E_c reprezintă tensiunea continuă a sursei de alimentare, DNC - discriminatorul de nivel critic, iar E - elementul de execuție.

Considerând $u_C(0)=0$, tensiunea la bornele condensatorului de capacitate C, pe durata regimului tranzitoriu de încărcare, este dată de relația:

**Fig.5.4**

Schema bloc a unui releu cu temporizare RC

$$u_C(t) = p \cdot E_c \cdot (1 - e^{-t/T}), \quad (5.1)$$

unde:

$$p = R_2 / (R_1 + R_2), \quad T = p \cdot R_1 \cdot C. \quad (5.2)$$

Discriminatorul de nivel critic DNC compară permanent tensiunea $u_C(t)$ cu un nivel de reper $U_0 < p \cdot E_c$ și comandă funcționarea elementului de execuție E în momentul t_a , corespunzător căruia tensiunea u_C atinge valoarea U_0 . Impunând condiția:

$$u_C(t_a) = U_0 \quad (5.3)$$

din (5.1), pentru temporizarea la acționare t_a , se obține:

$$t_a = T \cdot \ln \frac{p \cdot E_c}{p \cdot E_c - U_0}. \quad (5.4)$$

Drept discriminator de nivel critic se poate utiliza un releu intermediar (acesta fiind în același timp și element de execuție) sau un circuit electronic.

În Fig.5.5 sunt prezentate scheme electrice funcționând cu un releu intermediar RI, pentru obținerea temporizării la acționare, Fig.5.5.a, respectiv la revenire, Fig.5.5.b.

Pentru schema electrică din Fig.5.5.a, temporizarea la acționare se calculează cu relația (5.4), în care pentru rezistența R_2 se consideră valoarea rezistenței bobinei releului RI, iar pentru tensiunea U_0 - valoarea tensiunii minime de acționare, U_a , a acestui releu. Variația în timp a semnalelor este reprezentată în Fig.5.5.c.

Temporizarea la revenire, Fig.5.5.b, se obține pe durata regimului tranzitoriu de descărcare a condensatorului din schemă, care începe în momentul deschiderii contactului K; revenirea releului RI are loc în momentul t_r , când tensiunea $u_2(t)$ aplicată bobinei atinge valoarea de revenire, U_r , Fig.5.5.d.

Dacă R_2 este rezistența bobinei releului RI, pentru tensiunea $u_2(t)$ înregistrată la bornele acesteia rezultă expresia:

$$u_2(t) = \frac{R_2 \cdot E_c}{R_1 + R_2} \cdot e^{-t/T}, \quad T = (R_1 + R_2) \cdot C. \quad (5.5)$$

Din condiția $u_2(t_r) = U_r$, Fig.5.5d, pentru temporizarea la revenire, t_r , se obține:

$$t_r = T \cdot \ln \frac{R_2 \cdot E_c}{(R_1 + R_2) \cdot U_r}. \quad (5.6)$$

Relațiile (5.4), (5.6) evidențiază parametrii de care depind valorile temporizărilor t_a , t_r ; pentru reglarea acestora se acționează în mod obișnuit asupra valorilor constantei de timp T a circuitului.

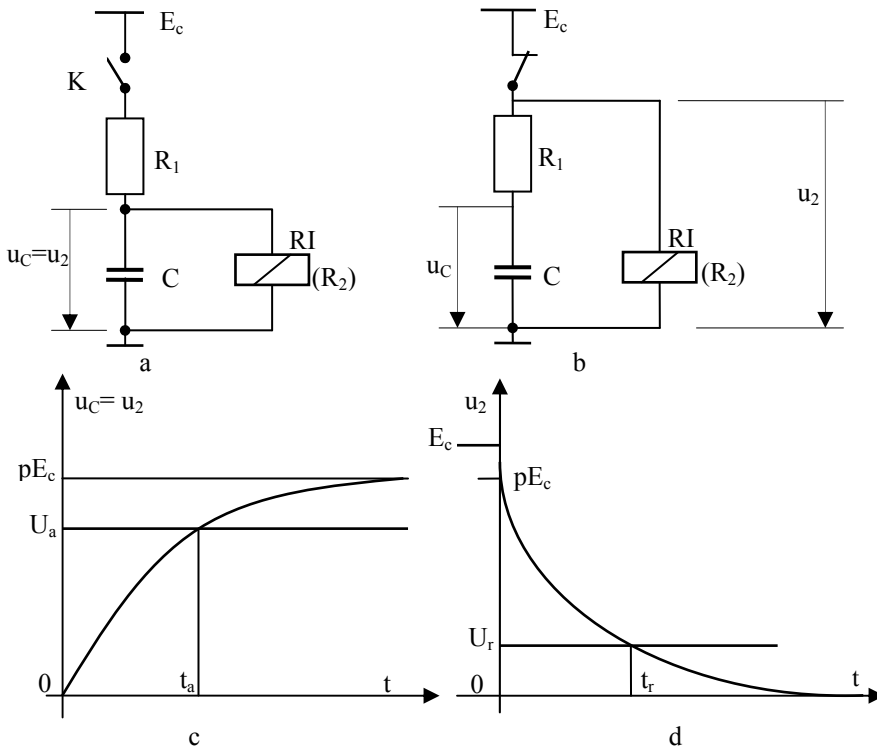


Fig.5.5

Releu cu temporizare RC: a-la acționare; b-la revenire; c, d-evoluția tensiunii.

Posibilitățile de temporizare electrică prezentate în Fig.5.5 sunt utilizate în realizarea releului electronic de timp MET-13, având schema electrică dată în Fig.5.6.

Releul funcționează cu temporizare la acționare și este format din trei părți componente:

- circuitul de intrare (alimentare) format din rezistențele R1 și R2, condensatorul electrolitic de filtraj C1 și dioda stabilizatoare PL 12Z;
- circuitul de temporizare format din condensatorul electrolitic C2, tranzistoarele T1 și T2, potențiometrele P1 și P2, tiristorul TR, termistorul Th;
- circuitul de ieșire format din releul intermediar RI 13 și blocul său de contacte.

Dacă se consideră condensatorul C2 inițial descărcat, la aplicarea tensiunii operative între bornele 2 și 10, C2 se încarcă pe traseul P1- R5 până la tensiunea de 12 V (tensiune stabilizată de dioda PL 12Z).

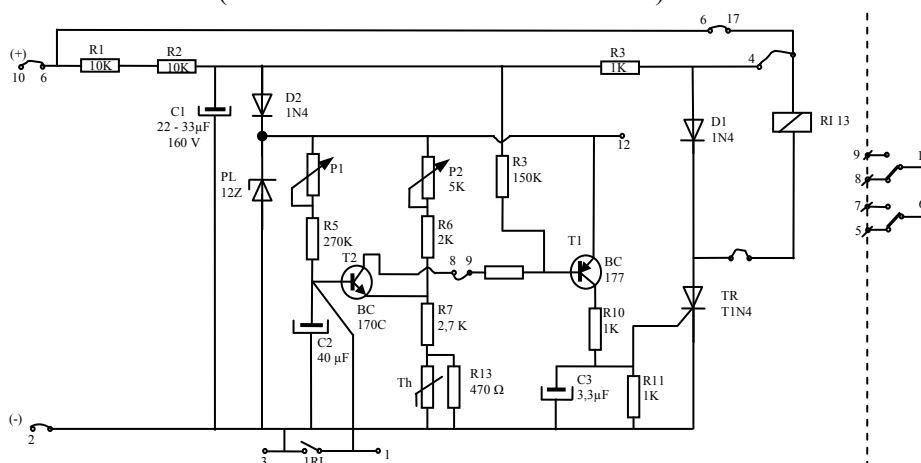


Fig.5.6

Schema electrică MET-13

Când tensiunea U_{c2} de la bornele lui C2 depășește tensiunea de emitor U_E a tranzistorului T2, acesta va trece în stare de conducție și va determina și intrarea în conducție a tranzistorului T1. Astfel, pe poarta tiristorului TR se va aplica un semnal pozitiv pe traseul: borna 12, T1, R10, poartă și acesta se va amorsa, determinând alimentarea bobinei releului RI 13.

Contactul normal deschis 1RI se va închide odată cu anclanșarea releului intermediar și C2 se va descărca practic instantaneu deoarece bornele sale sunt puse în scurtcircuit. Acest lucru e necesar pentru ca, la revenire (întreruperea alimentării), C2 să nu rămână încă încărcat, deci să nu mențină releul anclanșat (fără temporizare la revenire). Astfel, la întreruperea alimentării cu tensiune, releul este pregătit pentru o nouă funcționare.

Reglajul temporizării se face cu ajutorul potențiometrului P1 prin care se modifică constanta de timp a circuitului P1, R5, C2.

Caracteristicile tehnice ale releului MET-13 sunt date în Tab.5.3.

Tab.5.3

Nr. crt.	Denumirea	Tipul releului: MET-13
1	Tensiunea nominală a bobinei releului intermediar, U_n [V]	24, 48, 110, 220 V c.c. 24, 110, 220 V c.a.
2	Tensiunea minimă de acționare [V]	$0,7 U_n$
3	Abateri admisibile la etalonarea scalei	+ 10 % - 20 %
4	Anduranța mecanică	$5 \cdot 10^6$ Acționări pe sarcină
5	Capacitatea de comutare a contactelor, [A], la închidere/deschidere	5/0,5 în c.c. 5/2 în c.a.

3. Programul lucrării

3.1. Standul experimental

Standul experimental pentru verificarea releelor de timp este un ansamblu de blocuri funcționale în care partea principală este o unitate de comandă și control. De asemenea, standul mai include blocuri de alimentare, un servomotor pentru reglajul automat al tensiunii, voltmetru de curent continuu, siguranțe fuzibile, prize de rele etc.

Prin intermediul unui sistem de achiziție de date, standul experimental va prelua diverse informații (tipul releului de timp verificat, tensiunea reglată etc.) pe care le va converti în mod corespunzător pentru a putea fi afișate pe panoul de comandă al standului, Fig.5.7, precum și pentru transmiterea acestora către un calculator, utilizându-se o interfață serială RS232.

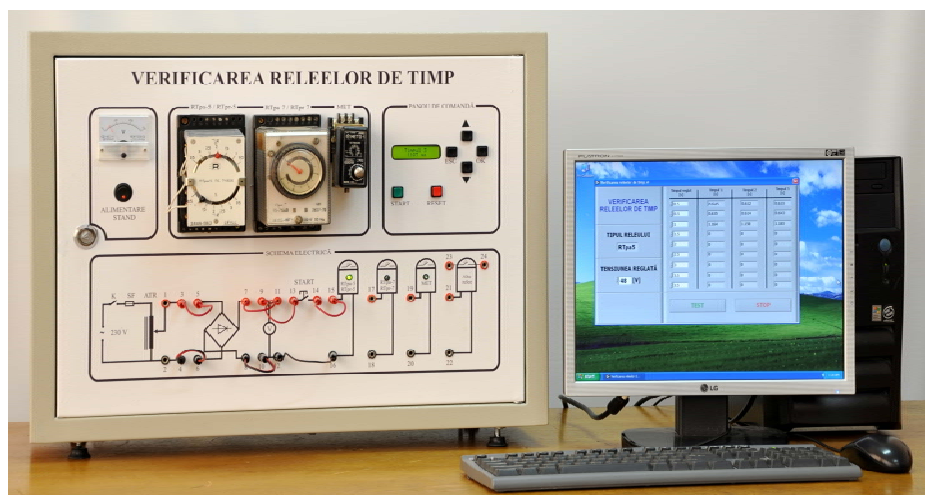
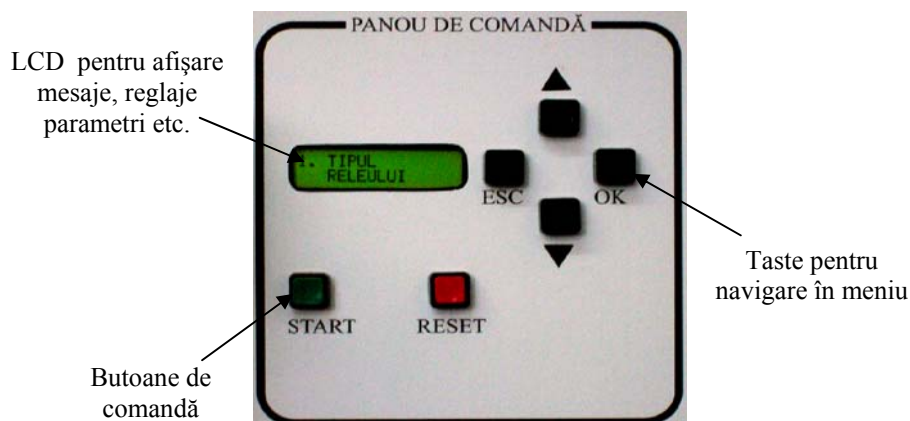


Fig.5.7
Instalația experimentală

**Fig.5.8***Panoul de comandă și control*

În mediul de programare LabVIEW a fost realizată o aplicație software (instrument virtual) ce permite prelucrarea și afișarea datelor achiziționate cum ar fi: tipul releului verificat, tensiunea reglată, precum și tabelul de verificare a temporizărilor reglate. Totodată, aplicația software oferă posibilitatea de salvare, sub formă tabelară, într-un fișier de tip text (.txt), a datelor achiziționate.

Panoul de comandă și control al standului (taste și afișaj alfa-numeric) dă posibilitatea utilizatorului de a realiza diverse setări ale standului și de a obține diverse informații cu privire la releul de timp verificat, prin parcurgerea meniului interfeței, Fig.5.8. În Anexa 1.E este prezentat meniul interfeței dintre standul experimental și utilizator.

După alegerea tipului releului și a reglării manuale a tensiunii se trece la verificarea temporizării pentru toată scala de reglaj a releului de timp. Verificarea se realizează prin apăsarea butonului START de pe panoul de comandă al standului ce permite alimentarea bobinei releului, pe afișor fiind scris timpul (1, 2, 3) ce urmează a fi măsurat. După funcționarea releului se va afișa valoarea duratei temporizării la acționare sau revenire, durată exprimată în milisecunde.

Pentru fiecare timp reglat de pe scală se efectuează trei verificări, valorile măsurate fiind centralizate în tabelul din Fig.5.9.

După finalizarea procesului de verificare a scalei releului de timp, instrumentul virtual oferă utilizatorului posibilitatea de salvare a datelor într-un fișier text, Fig.5.9. Ulterior datele pot fi prelucrate pentru a determina eroarea fiecărei trepte de reglaj de pe scala releului de timp.

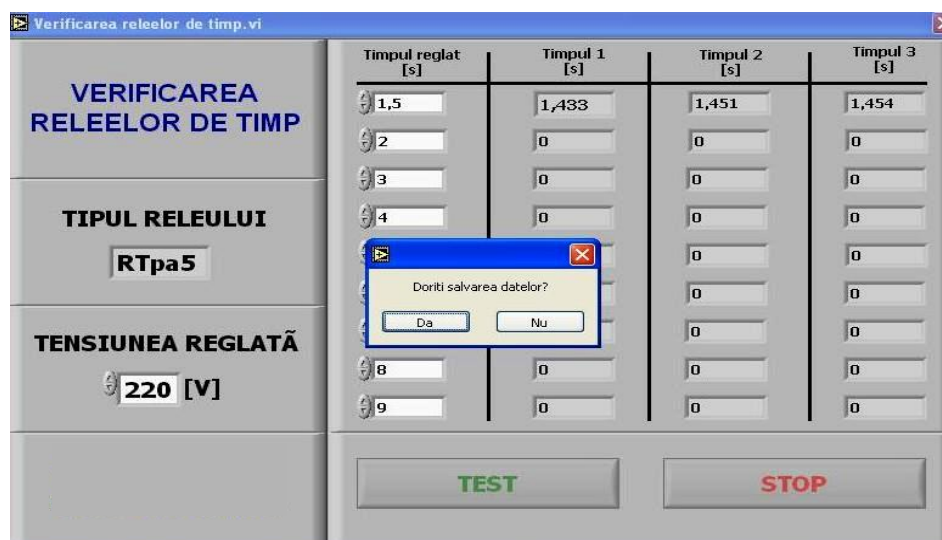


Fig.5.9

Afișarea datelor experimentale

3.2. Verificarea releelor de timp RTpa-5 / RTpr-5

3.2.1. Verificarea generală a releului

Această verificare are drept scop obținerea unor informații cu caracter general. Ea presupune verificarea concordanței dintre tipul și caracteristicile releului, precum și constatarea unor deteriorări ale părții mecanice sau electrice vizibile cu ochiul liber, fără o altă investigație. Se verifică, de asemenea, dacă pârghia de acționare a contactului instantaneu și pârghia de pornire a mecanismului de orologerie nu sunt dereglate, sau nu prezintă frecări cu părțile fixe ale releului. Corecta funcționare a părții mecanice și, cu atât mai mult a întregului releu, este strâns legată de modul de funcționare al contactelor. Acestea trebuie să lucreze fără vibrații, să asigure o închidere corectă și fermă a circuitelor, să nu rămână blocate după acționări.

3.2.2. Măsurarea rezistenței ohmice a bobinei de acționare

Scopul măsurării îl reprezintă determinarea rezistenței ohmice a înfășurării bobinei releului pentru a se depista scurtcircuite între spire sau eventuala întrerupere a înfășurării bobinei de acționare.

Valoarea nominală a rezistenței ohmice a bobinei electromagnetului releului este în funcție de tensiunea nominală a releului ce este indicată în Tab.5.1. Măsurarea rezistenței ohmice a bobinei electromagnetului de acționare a releului se face cu un ohmmetru.

3.2.3. Verificarea etalonării scalei de reglaj a timpului

Configurația schemei pentru verificarea etalonării scalei de reglaj a temporizării este prezentată în Fig.5.10.

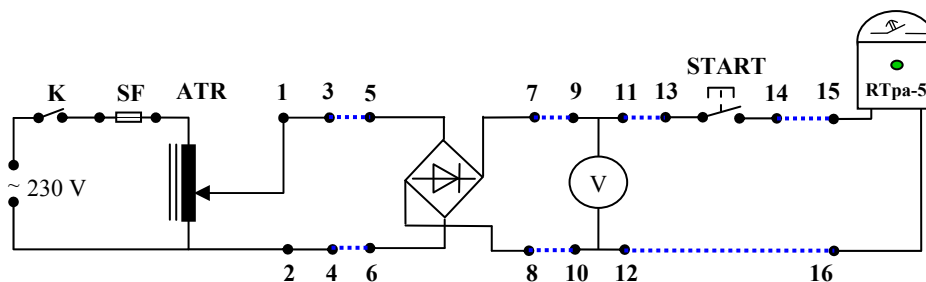


Fig.5.10

Schema electrică pentru verificarea releului RTpa-5

Punerea în funcțiune a montajului se va executa în următoarea ordine:

- se introduce releul de verificat în soclul RTpa-5 sau RTpr-5;
- se reglează timpul dorit pe scala de reglaj a releului;
- se realizează legăturile electrice, urmărindu-se schema electrică de pe panoul frontal al standului;
- se asigură conectarea interfeței seriale dintre stand și calculator;
- se pornește calculatorul și se deschide aplicația software;
- se alimentează standul experimental cu tensiunea de 230 Vca;
- se alege din meniu tipul releului;
- se reglează tensiunea corespunzătoare releului verificat;
- se verifică temporizarea pe toată scala de reglaj a releului de timp;
- se salvează datele obținute într-un fișier de tip text;
- dacă s-au determinat toate temporizările pentru releul verificat se aduce tensiunea la zero prin comanda „TERMINARE LUCRARE”;
- după ce tensiunea a fost anulată se deconectează standul experimental.

Verificările se vor realiza pentru următoarele valori ale tensiunii de serviciu: $U_1 = 0,85 \cdot U_n$, $U_2 = U_n$, $U_3 = 1,1 \cdot U_n$, U_n fiind tensiunea nominală a releului.

Se calculează valoarea medie, t_a , a temporizării reale și eroarea ε_t față de valoarea reglată t_R cu ajutorul relațiilor:

$$t_a = t_{a\Sigma} / 3, [s]; \quad \varepsilon_t = t_a - t_R, [s]. \quad (5.7)$$

Datele obținute se centralizează în Tab.5.4.

Tab.5.4

Tipul releului		$U_n = \dots [V]$						
ε_{ad}								
$t_r [s]$								
$U_1 = 0,85 \cdot U_n$	$t_1 [s]$							
	$t_2 [s]$							
	$t_3 [s]$							
	$t_{a\Sigma} [s]$							
	$t_a [s]$							
	$\varepsilon_t [s]$							
$U_2 = U_n$	$t_1 [s]$							
	$t_2 [s]$							
	$t_3 [s]$							
	$t_{a\Sigma} [s]$							
	$t_a [s]$							
	$\varepsilon_t [s]$							
$U_3 = 1,1 \cdot U_n$	$t_1 [s]$							
	$t_2 [s]$							
	$t_3 [s]$							
	$t_{a\Sigma} [s]$							
	$t_a [s]$							
	$\varepsilon_t [s]$							

Pentru releul verificat valorile erorii ε_t , trebuie să fie mai mici decât valoarea admisibilă a acestuia ε_{ad} , precizată în Tab.5.1.

3.3. Verificarea etalonării scalei de reglaj a releului de timp RTpa-7

Configurația schemei pentru verificarea etalonării scalei de reglaj a temporizării este prezentată în Fig.5.11.

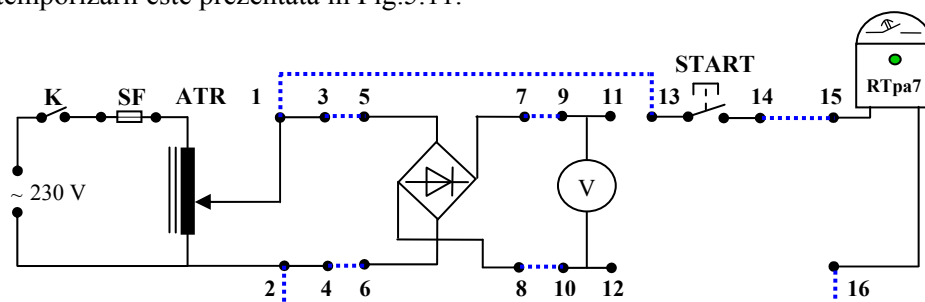


Fig.5.11

Schema electrică pentru verificarea scalei releului RTpa-7

Punerea în funcțiune a montajului se face urmând aceleași etape ca la §3.2.3 doar că pentru verificare se introduce în soclul corespunzător releul

RTpa-7. Verificarea se face pentru următoarele valori ale tensiunii: $U_1=0,85 \cdot U_n$, $U_2=U_n$, $U_3=1,1 \cdot U_n$, U_n fiind tensiunea nominală a releului verificat. Se calculează valoarea medie t_a , a temporizării reale și eroarea ε_t , față de valoarea reglată t_R , conform relațiilor (5.7). Datele obținute se trec într-un tabel de forma Tab.5.4.

Pentru releul RTpa-7 valorile erorii ε_t trebuie să fie mai mici decât valoarea admisibilă ε_{ad} , indicată în Tab.5.2.

3.4. Verificarea etalonării scalei de reglaj a releului MET-13

Configurația schemei pentru verificarea etalonării scalei de reglaj a unui releu MET-13 alimentat în c.a. este prezentată în Fig.5.12.

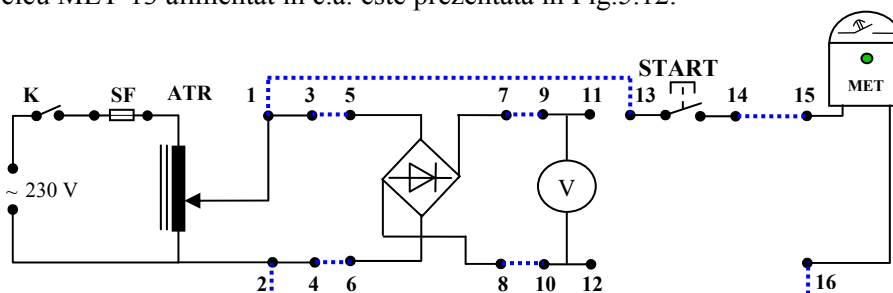


Fig.5.12

Schema electrică de verificare a releului MET-13

Obiectul măsurării îl reprezintă verificarea etalonării corecte a scalei de reglaj a temporizării pentru releul de timp tip MET-13. Verificarea se execută la tensiunea nominală de funcționare a releului (24, 48, 110, 220 Vc.c. și 24, 110, 220 Vc.a.). Valorile normate ale temporizărilor sunt prezentate în Tab.5.3. Abaterile maxime admisibile la etalonarea scalei de reglaj a temporizării permise de fabrica constructoare sunt indicate în același tabel.

Punerea în funcțiune a montajului se realizează parcurgând pașii de la §3.2.3, doar că pentru verificare se introduce în soclul corespunzător releul electronic de tip MET-13.

Verificarea se va face pentru următoarele valori ale tensiunii: $U_1=0,85 \cdot U_n$, $U_2=U_n$, $U_3=1,1 \cdot U_n$, U_n fiind tensiunea nominală a releului verificat.

Se calculează valoarea medie t_a , a temporizării reale și eroarea ε_t , față de valoarea reglată t_R , conform relațiilor (5.7). Datele se trec într-un tabel de forma Tab.5.4. Pentru releul MET-13 valorile erorii ε_t , trebuie să fie mai mici decât valoarea admisibilă ε_{ad} , indicată în Tab.5.3.

4. Conținutul referatului

- ❑ Schemele electrice și parametrii nominali ai releelor de timp studiate.
- ❑ Schemele de montaj utilizate pentru încercări.
- ❑ Rezultatele experimentale obținute la §3.2, §3.3, §3.4 prezentate tabelar.
- ❑ Observații și concluzii.

5. Bibliografie

- [1] Baraboi A., Adam M., *Echipamente electrice (vol. I)*, Editura “Gh. Asachi” Iași, 2002.

Lucrarea nr. 6

Relee cu logică programabilă

1. Noțiuni generale

Supravegherea, comanda, controlul și conducerea proceselor electromecanice la care intrările, ieșirile și stările acestora pot fi modelate prin variabile binare se poate face și cu ajutorul automatelor programabile (Programmable Logic Controller – PLC). Echipamentele de tipul automatului programabil sunt implementate din ce în ce mai mult și în domeniul curenților tari (în ingineria energetică). Automatul programabil (AP), în general, nu apare neapărat explicit, ci inclus fie integral, fie prin anumite părți componente ale acestuia (unitatea centrală de calcul, intrările și ieșirile analogice/digitale etc.) în aplicațiile specifice acestui domeniu. Echipamentele cu logică programabilă, se folosesc în domeniul ingineriei energetice, îndeosebi, pentru a moderniza aplicațiile de logică secvențială care anterior au fost implementate folosind logica cablată realizată cu circuite logice și/sau relee. Astfel, în cele mai multe cazuri, automatele programabile sunt realizate pentru a înlocui releele de protecție, comandă și semnalizare.

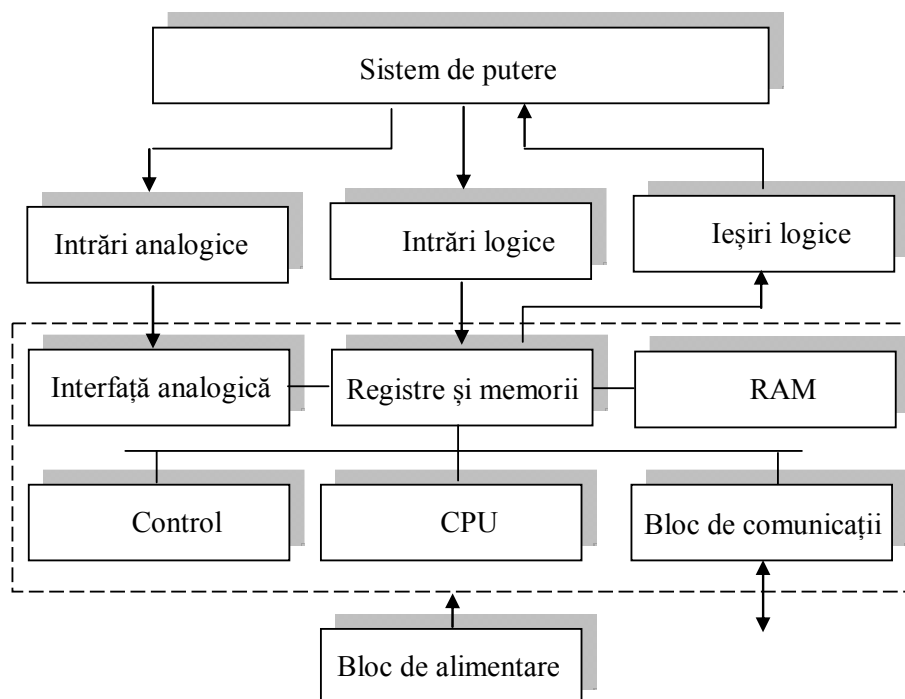
În Fig.6.1 este prezentată schema bloc funcțională a unui releu de protecție cu microprocesor, [1]. Partea hardware a releului nu diferă esențial de structura unei unități de calcul dedicate aplicațiilor industriale. Funcția de protecție este implementată prin software.

Procesul de conversie analog-numerică poate fi făcut prin utilizarea unui singur convertor la intrarea căruia se aduc semnalele analogice, prin intermediul unui multiplexor, iar ieșirile rezultate în urma fiecărei conversii sunt transferate unității de calcul. Alte metode de conversie utilizează convertoare analog-numerice dedicate fiecărui semnal. În acest caz se poate utiliza un multiplexor pentru citirea fiecărei informații numerice stocate în releu.

Mesajele generate de către releul cu microprocesor pot fi salvate, la momente bine determinate de timp, cu ajutorul memoriei RAM, într-un circuit de stocare secundar, eliberându-se memoria RAM pentru cazul apariției unui nou regim tranzitoriu cauzat de un eveniment în sistemul de putere.

Programul după care lucrează protecția, logica și stările sunt stocate într-un anumit spațiu din memoria ROM (EPROM, EEPROM etc.).

Controlerul, unitatea centrală de procesare (CPU) și registrele permit executarea programului de lucru al protecției numai atunci când este necesar. Dacă protecția este prevăzută și cu posibilități de supraveghere și înregistrare continuă, programele destinate acestor scopuri pot funcționa independent de programul prioritar de deconectare a întrerupătorului de putere.

**Fig.6.1**

Schema bloc a unui releu de protecție cu microprocesor

Dacă releul este prevăzut cu dispozitiv de tipul Watchdog (supraveghere internă și autocontrol) acesta resetează releul cu microprocesor la erori și defecte în program.

Blocul de alimentare al releului cu microprocesor trebuie conceput ca o sursă neîntreruptibilă, pentru a menține în funcțiune releul de protecție chiar în absența tensiunii de alimentare de la rețea.

Comunicația cu nivelul ierarhic superior (calculatorul stației de transformare) se face prin intermediul blocului de comunicații.

În categoria echipamentelor cu logică programabilă se regăsesc și așa numitele rele inteligente, rele realizate de firme precum Schneider Electric (releele *Zelio Logic*), Siemens (releele *LOGO*), Moeller - actuala Eaton (releele *Easy*) etc. Toate tipurile de rele inteligente sunt însoțite de pachete software care facilitează programarea acestora. Transferul programelor în memoria echipamentelor este ușor de realizat, totodată fiind posibilă și simularea funcționării aplicațiilor. Astfel, la dispoziția utilizatorilor există diferite pachete software de programare a releelor inteligente, precum: *EasySoft* (Moeller), *LogoSoft Comfort* (Siemens), *ZelioSoft* (Schneider Electric) etc.

Programarea acestor relee este realizată prin utilizarea diagramei scară (LAD - Ladder Diagram), întâlnită absolut la toți producătorii de astfel de echipamente. O alternativă de programare o poate reprezenta utilizarea funcțiilor diagramă-bloc (FBD - Function Block Diagram), ce presupune simularea schemei de comandă a circuitului cu ajutorul blocurilor logice și ale algebrei booleene.

În continuare se vor prezenta aspecte (construcție, funcționare, programare) privind familia de relee *Easy*, cu detalieri referitoare la releul *Easy 412*.

2. Relee *Easy*

2.1. Aspecte constructive și funcționale

La baza aplicațiilor în ingineria electrică și energetică se află planul cu schemele circuitelor electrice. În practică, conectarea echipamentelor electrice se realizează prin cablare. Cu ajutorul releelor programabile se pot simplifica foarte mult schemele circuitelor electrice de control/comandă/semnalizare trecându-se de la conectarea prin cablare, la cea logică.

Releele programabile *Easy400/500/600/700* sunt relee de comandă electronice care permit realizarea de funcții logice, funcții de cronometrare, contorizare și de întrerupător orar etc., [2], [3]. Aceste tipuri constructive de relee programabile diferă între ele prin numărul de intrări, numărul de ieșiri de tip releu sau tranzistor, numărul de linii logice de circuit, numărul de ecrane pentru afișare de text sau valori pe display etc.

Releele *Easy800*, [3], oferă pe lângă facilitățile releelor *Easy400/500/600/700* și funcții aritmetice suplimentare și acces integrat la rețeaua *Easy-NET*. Prin intermediul acestei rețele se pot interconecta până la opt relee de comandă *Easy800* la un grup de control. Cu ajutorul *Easy800* se pot realiza comenzi rapide cu inteligență distributivă pentru ca fiecare participant de pe *Easy-NET* să poată să opereze cu o schemă de conexiuni.

Familia de echipamente programabile ale firmei Moeller a fost completată cu echipamentele *MFD-Titan*, echipamente care oferă aceleași funcționalități de control și utilizare a *Easy-NET* ca și releul programabil *Easy800* la care se adaugă faptul că procesul controlat poate fi comandat și vizualizat pe un display grafic.

Principalele facilități ale acestor echipamente programabile sunt: relee multifuncționale; relee de timp; contoare (rapide, de frecvență, înainte și înapoi, pentru orele de funcționare); comparator de valori analogice; ceasuri de comutare săptămânale și anuale; comutare automată la ora de vară; valori actuale remanente ale marcatorilor, contoarelor și releelor de timp; regulator

PID (*Easy800*, *MFD-Titan*); module aritmetice (*Easy800*, *MFD-Titan*); scalarea valorilor (*Easy800*, *MFD-Titan*).

În Fig.6.2 este prezentat panoul frontal al releului *Easy 412 DC-RC* unde s-a notat, [2]: 1 - borne pentru conectarea la sursa de alimentare; 2 - borne de intrări (opt intrări din care două pot fi folosite de la 0-10 V ca intrări analogice); 3 - buton de ștergere (DEL); 4 - butonul ALT; 5 - buton cursor; 6 - buton OK; 7 - buton ESC; 8 - conector interfață calculator; 9 - borne contacte de ieșire; 10 - eticheta dispozitivului; 11 – afișor (LCD).

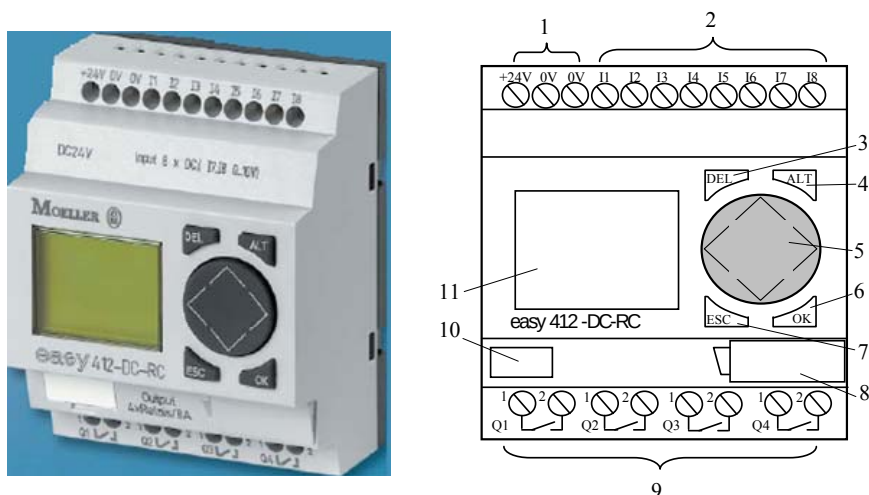


Fig.6.2

Panou frontal Easy 412

Crearea schemei de comandă folosind releul *Easy* este similară cazului obișnuit de trasare a unei scheme de comandă bazată pe relee. Programarea releului se poate face fie cu ajutorul butoanelor aflate pe panoul frontal al dispozitivului, fie prin intermediul calculatorului. Fiecare circuit al schemei de comandă constă dintr-o linie orizontală având cel mult trei simboluri de contacte și un simbol al unei bobine de relee. În diagrama de funcționare a circuitului, contactele pot fi *normal deschise* (*make contact*)-ND și au starea “0” sau *normal închise* (*break contact*)-NI și au starea “1”. În Tab.6.1 se prezintă câteva tipuri de contacte care sunt folosite în programarea aplicațiilor.

Tab.6.1

Tipul contactului	Simbol contact normal deschis	Simbol contact normal închis	Număr de contacte
Terminal de intrare „Easy”	I	$\bar{I}$	I1.....I8
Contact de tip buton	P	$\bar{P}$	P1.....P4

Ieșire „Easy”	Q	$\overline{Q}$	Q1.....Q4
Contact auxiliar de tip releu	M	$\overline{M}$	M1....M16
Contact de tip contor	C	$\overline{C}$	C1.....C8
Contact cu temporizare	T	$\overline{T}$	T1.....T8
Contact de tip ceasornic	Θ	$\overline{\Theta}$	Θ 1..... Θ 4
Releul comparator analogic	A	$\overline{A}$	A1.....A8

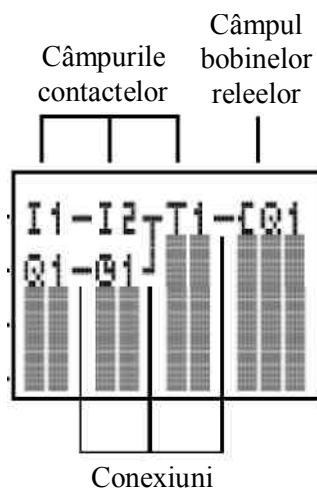


Fig.6.3

Realizarea diagramei unui circuit

Diagrama circuitului este creată pe o grilă de conexiuni invizibilă ce conține câmpurile contactelor, câmpul bobinelor și respectiv pe cel al conexiunilor de circuit. Contactele releelor se pot insera în cele 3 câmpuri ale contactelor, Fig.6.3, corespunzătoare celor trei coloane duble. Primul câmp este automat conectat la alimentarea cu tensiune. Cel de-al 4-lea câmp (ultimul – o coloană triplă) este destinat bobinei releului. Câmpurile situate între cele ale contactelor și cel al bobinelor de releu (trei la număr) sunt destinate conexiunilor. Conexiunile permit „realizarea de legături electrice” între

contactele releelor și bobinele acestora.

Releul *Easy 412* permite realizarea a 41 de linii de circuit, iar releul inteligent *Easy 600* permite realizarea a până la 121 de astfel de linii.

Un contact este definit printr-un simbol (nume) și un număr (spre exemplu: **I2** - reprezintă un contact normal deschis conectat la intrarea 2). La rândul lui un releu este definit prin funcția bobinei sale, nume și număr; spre exemplu: **Q1** - primul simbol indică funcția bobinei releului (cea de contactor), al doilea simbol tipul releului (în acest caz releu de ieșire), respectiv numărul acestuia.

Fie schema electrică din Fig.6.4a unde F1 reprezintă un întrerupător general cu protecție la suprasarcină și scurtcircuit. Lampa de semnalizare H1 va lumina atunci când butonul S1 va fi apăsat, iar dacă ambele butoane S1 și S2 sunt apăstate atunci lampa va fi stinsă. În Fig.6.4b este dată realizarea montajului cu ajutorul unui releu *Easy*. Butoanele S1 și S2 sunt conectate la intrările 1 și 2, iar lampa H1 este conectată la ieșirea Q1. “I1” și “I2”, prezente pe afișajul

releului, sunt contacte normal deschise pentru terminalele de intrare. Releul K1 este reprezentat de bobina releului K1 , unde prin simbolul K este identificată funcția de bobină, în acest caz o bobină de releu acționând ca un contactor, iar Q1 este unul din cele 4 rele de ieșire de tip *Easy*.

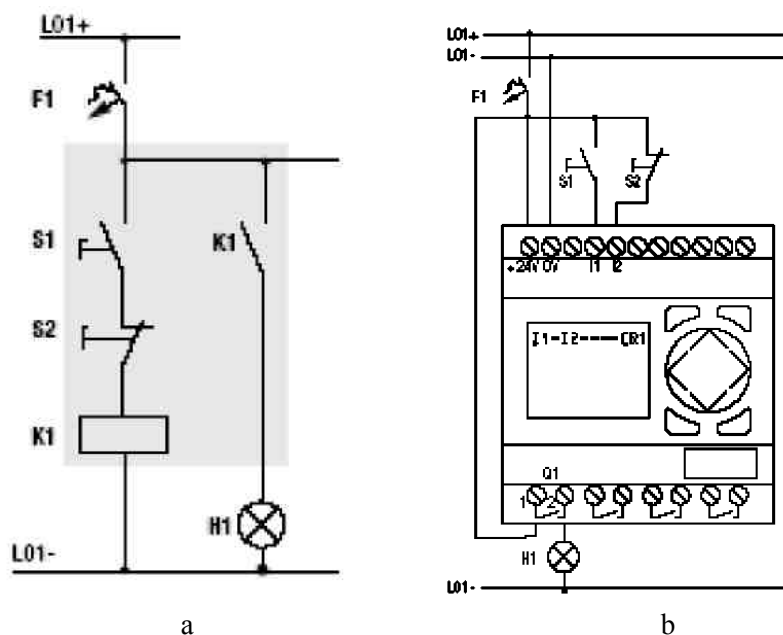


Fig.6.4

Circuit electric: a-schema; b-montaj realizat cu un releu Easy.

Deși, la prima vedere montajul realizat cu releul *Easy* nu pare mai simplu decât cel corespunzător unei realizări clasice (prin cablare), implementarea cu rele inteligente își arată avantajele atunci când schemele sunt complexe și presupun utilizarea mai multor contacte normal deschise și/sau normal închise, butoane, rele de timp etc.

2.2. Tipuri de rele

În cadrul acestui subcapitol vor fi explicate câteva din funcțiile posibile ale bobinei unui releu, respectiv unele din relele utilizate de *Easy* la simularea unor dispozitive (relee) prezente în sistemele convenționale de control/comandă. Setarea funcțiilor presupune de fapt stabilirea comportamentului unui releu.

Releele inteligente *Easy* pot conține diferite tipuri de relee ce pot fi conectate în diagramele circuitelor electrice. În Tab.6.2 se prezintă tipuri de relee ale *Easy 412* și *600* ce sunt folosite în programarea aplicațiilor.

Tab.6.2

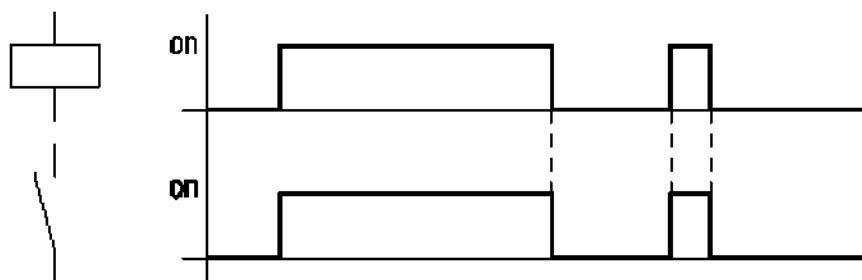
Tipul releului	Simbol releu	Număr de relee
Releu de ieșire „ <i>Easy</i> ”	Q	Q1.....Q4
Releu intermediar (marker relay)	M	M1.....M16
Releu de tip contor (numărător)	C	C1.....C8
Releu de timp	T	T1.....T8
Releu comparator analogic	A	A1.....A8
Releu de tip ceasornic (time switch contact)	⌚	⌚1..... ⌚4
Releu pentru afișarea unui text pe display (<i>Easy 600</i>)	D	D1.....D8
Releu indicator de stare (marker auxiliary) (<i>Easy 600</i>)	S	S1.....S8

Releul M este utilizat ca releu indicator de stare (flag), iar releul S este folosit ca releu indicator de stare (flag) pentru afișarea pe display. Aceste relee, din punct de vedere al utilizării lor în schema de comandă și control, diferă de releele de tip Q doar prin aceea că nu au un terminal de ieșire asociat.

2.2.1. Tipuri de funcții ale bobinelor releelor

Pentru releele Q, M, D și S sunt disponibile următoarele funcții ale bobinelor releelor și anume: funcție de contactor; funcție de releu de impuls; funcție de tip set și reset (latch și unlatch).

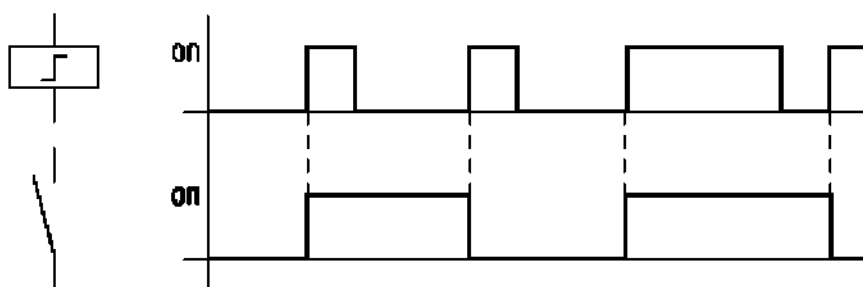
În Fig.6.5 este prezentată evoluția semnalelor prin bobina releului și prin contactul acestuia în cazul unei releu cu funcție de contactor. Funcția de contactor poate fi utilizată o singură dată pentru fiecare bobină. Această funcție poate fi utilizată de mai multe ori doar atunci când există salturi în structura diagramei de circuit. Se poate observa că semnalul de ieșire urmărește evoluția semnalului de intrare și deci releul acționează ca un contactor.

**Fig.6.5***Releu cu funcție de contactor*

Reprezentarea în program a releelor cu funcție de contactor este următoarea: $\text{Q1} \dots \text{Q4/8}$; $\text{M1} \dots \text{M16}$; $\text{D1} \dots \text{D8}$; $\text{S1} \dots \text{S8}$.

În Fig.6.6 este prezentată evoluția semnalelor prin bobina releului și prin contactul acestuia în cazul unei releu cu funcție de tip impuls. Se poate observa că semnalul de ieșire este comutat atunci când semnalul de intrare își schimbă starea din 0 în 1.

Reprezentarea în program a releelor cu funcție de tip impuls este următoarea: $\text{Q1} \dots \text{Q4/8}$; $\text{M1} \dots \text{M16}$; $\text{D1} \dots \text{D8}$; $\text{S1} \dots \text{S8}$.

**Fig.6.6***Releu cu funcție de tip impuls*

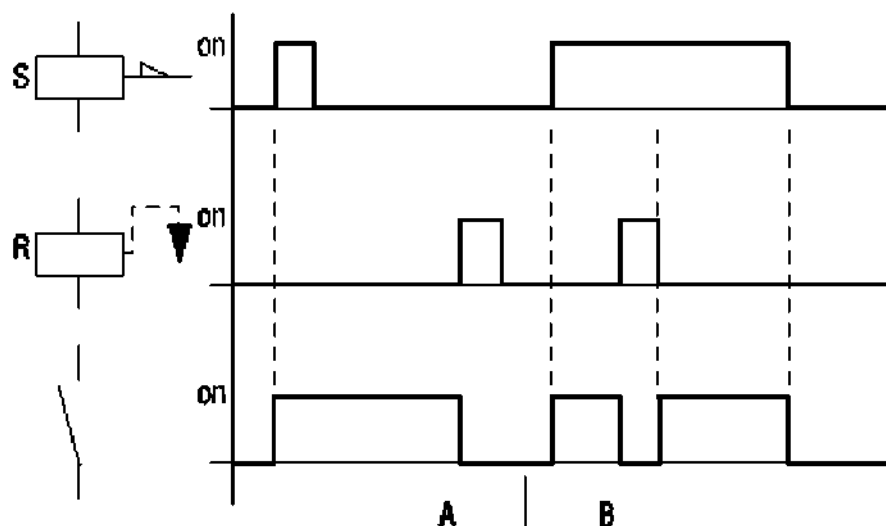


Fig.6.7

Releu cu funcție de tip set și reset

Releele cu funcții de tip set și reset (latch și unlatch) se folosesc în pereche. În Fig.6.7 este prezentată evoluția semnalelor de intrare ale releului, respectiv prin contactul de ieșire în cazul unei releu cu funcție de tip set și reset. Se poate observa că semnalul de ieșire este comutat din 0 în 1 de fiecare dată când funcția set este activată, respectiv se va realiza o comutație din 1 în 0 atunci când funcția de reset va fi activată (semnalul de reset are prioritate în fața celui de set).

Reprezentarea în program a releelor cu funcție de tip set și reset este următoarea: SQ1... SQ4/8, RQ1... RQ4/8; SM1... SM16, RM1... RM16; SD1... SD8, RD1... RD8; SS1... SS8, RS1... RS8.

2.2.2. Releu de timp

Pot exista 8 rele de timp diferite: T1...T8. Ele sunt utilizate pentru a realiza o comutație întârziată cu ajutorul unor contacte normal deschise și/sau normal închise. Întârzierea poate fi reglată în intervalul 10 milisecunde 100 ore.

Un releu de timp poate fi integrat în circuitul diagramă printr-o bobină (trigger coil sau reset coil) și unul sau mai multe contacte ND și/sau NI. Parametrii releului de timp sunt prezentați pe afișorul releului și este inițializat prin intermediul unui semnal de trigger (TRG) și poate fi resetat cu ajutorul unei intrări de reset (RES). Este recomandabil a se utiliza fiecare bobină

corespunzătoare a unui asemenea releu o singură dată în circuit pentru a preveni eventuale erori în funcționare.

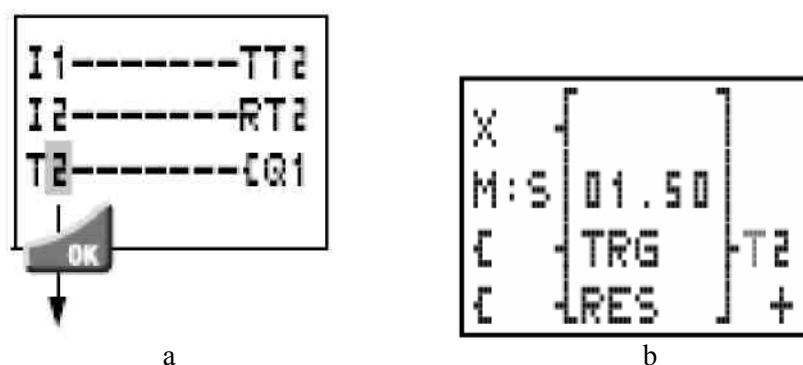


Fig.6.8
Releu de timp

În Fig.6.8 sunt prezentate modul de utilizare în circuitul diagramă al unui releu de timp, respectiv parametrii releului de timp. Pentru utilizarea unui releu de timp în circuitul diagramă sunt necesare a fi precizate două elemente: contactul releului care trebuie să fie prezent în câmpul contactelor, în acest exemplu T2; o bobină de trigger care trebuie să fie prezentă în câmpul bobinelor, în acest caz TT2, Fig.6.8a. Dacă este necesar se poate seta prin program și o bobină pentru resetarea releului de timp - RT2. La introducerea numărului contactului soft-ul va aștepta setarea parametrilor releului de timp, Fig.6.8b.

Primul simbol (din colțul stânga sus al figurii) indică modalitatea de comutare a releului care poate avea una din următoarele opțiuni: comutare cu temporizare la acționare; comutare cu temporizare aleatorie la acționare; comutare cu temporizare la declanșare; comutare cu temporizare aleatorie la declanșare; comutare la impuls; comutare pulsatorie. În Fig.6.8b se mai poate observa timpul de comutare (în exemplu timpul reglat este de 1 min și 50 secunde), T2 semnificând numărul releului de timp, iar simbolul + indică faptul că parametrii pot fi afișați și modificați fără a fi necesară introducerea unei parole. Timpul minim setabil pentru un releu *Easy 412* este de 40 ms, iar pentru *Easy 600* de 80 ms.

2.2.3. Releu numărător

Uzual se pot folosi până la 8 relee numărătoare: C1...C8, iar valoarea posibilă pentru comutarea contactelor se poate găsi în intervalul 0000...9999.

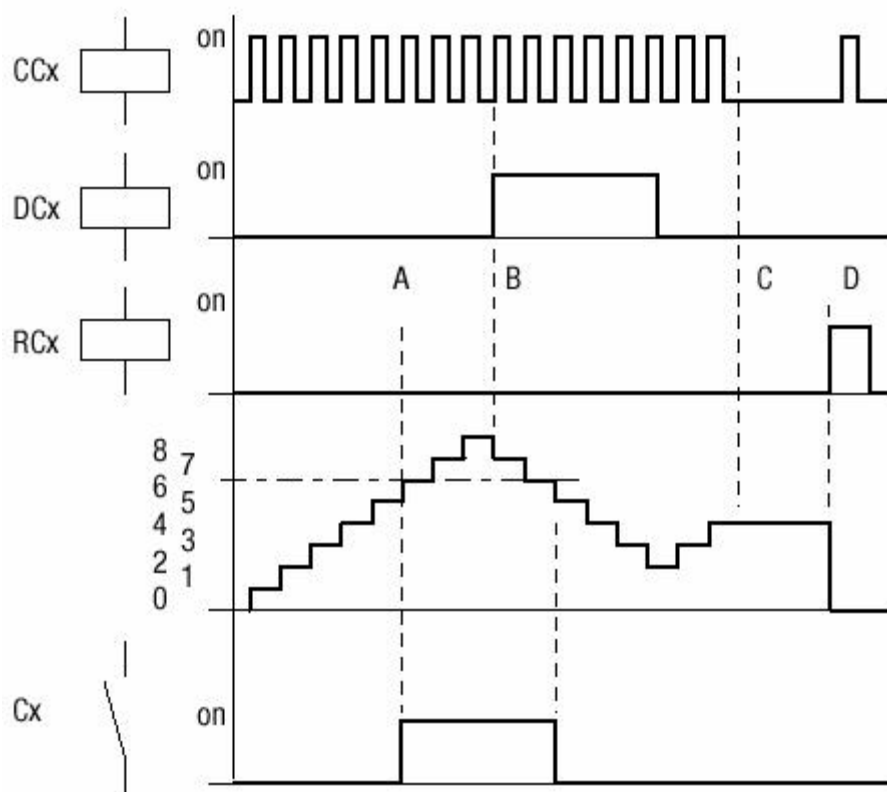
**Fig.6.9**

Diagrama de lucru a releului numărător

Un releu numărător poate fi controlat prin impulsuri aplicate bobinelor corespunzătoare ale releului: bobina de numărare – CCx; bobina sensului de numărare – DCx; bobina de reset – RCx.

Conform diagramei de funcționare a releului, Fig.6.9, contactul acestuia va comuta la atingerea valorii 6 (dacă în prealabil s-a setat această valoare pentru numărător). Dacă sensul de numărare nu se schimbă, nici starea contactului releului nu se va schimba. Această stare se poate schimba după schimbarea sensului de numărare și atingerea valorii 5 (deci la părăsirea valorii 6 și atingerea valorii 5).

Contactul releului poate fi resetat eventual cu ajutorul unui semnal de reset. Este de remarcat comportamentul acestui releu în lipsa impulsului de numărare aplicat pe bobina CCx. În absența acestuia valoarea curentă va fi reținută și ea va constitui punctul de plecare în momentul reapariției semnalului de numărare.

În Fig.6.10 sunt prezentate modul de utilizare în circuitul diagramă al unui releu de tip numărător, respectiv parametrii acestui releu. Din diagrama de circuit corespunzătoare acestui releu Fig.6.10a se observă că pe intrările I1, I2 și I3 au fost conectate, bobina de numărare a releului - CC1, cea corespunzătoare sensului de numărare - DC1, respectiv cea de reset - RC1. Ieșirea releului de numărare este atribuită ieșirii Q1.

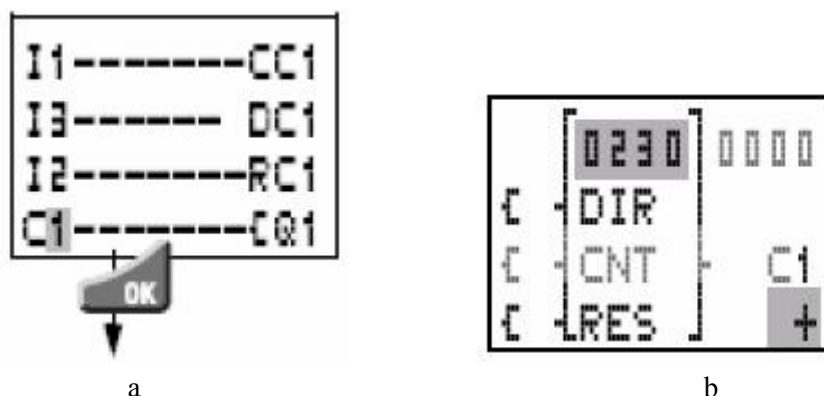


Fig.6.10
Releu numărător

La introducerea în diagrama circuitului a contactului releului numărător, va fi afișat un ecran de setare a parametrilor numărătorului, Fig.6.10b. Parametrul „DIR” indică faptul că s-a folosit în program o bobină D ce arată sensul de numărare (DCx=0 numărare crescătoare, DCx=1 numărare descrescătoare), „CNT” arată că s-a folosit o bobină de numărare, iar „RES” că releul are și bobină de reset. Prima linie indică numărul la care se va face comutarea (în acest caz: 230), precum și valoarea curentă a numărării (în dreapta). Semnul + semnalizează utilizatorului posibilitatea de a accesa modificarea parametrilor numărătorului. Dacă este afișat semnul - atunci parametrii acestuia nu pot fi modificați.

2.2.4. Releu de tip ceasornic

Releele inteligente produse de firma Moeller care au ca sufix al simbolului utilizat, RC(X) sau TC(X), arată faptul că acestea sunt echipate cu un ceas de timp real ce poate fi utilizat în diagrama de circuit ca un releu orar săptămânal (de 7 zile).

Releele lucrează cu 4 astfel de comutatoare orare (relee tip ceas). Fiecare comutator orar are 4 canale (A, B, C, D) care pot fi folosite pentru a seta 4 ore de pornire, respectiv 4 de oprire. Acest releu are o baterie de salvare a informațiilor și setărilor stabilite permițând continuarea funcționării acestuia

chiar și în cazul apariției unei căderi de tensiune, deși releele de tip ceas nu vor comuta. În cazul în care numărătorul este deconectat de la tensiunea de alimentare, contactele vor rămâne deschise.

În Fig.6.11 este dat un exemplu de utilizare al unui astfel de releu, în care acesta va realiza de luni până vineri o comutație a contactului între orele 6:30 și 9:00 (canal A) și apoi o alta între orele 17:00 și 22:30 (canal B). Parametrii releului sunt afișați în Fig.6.11b.

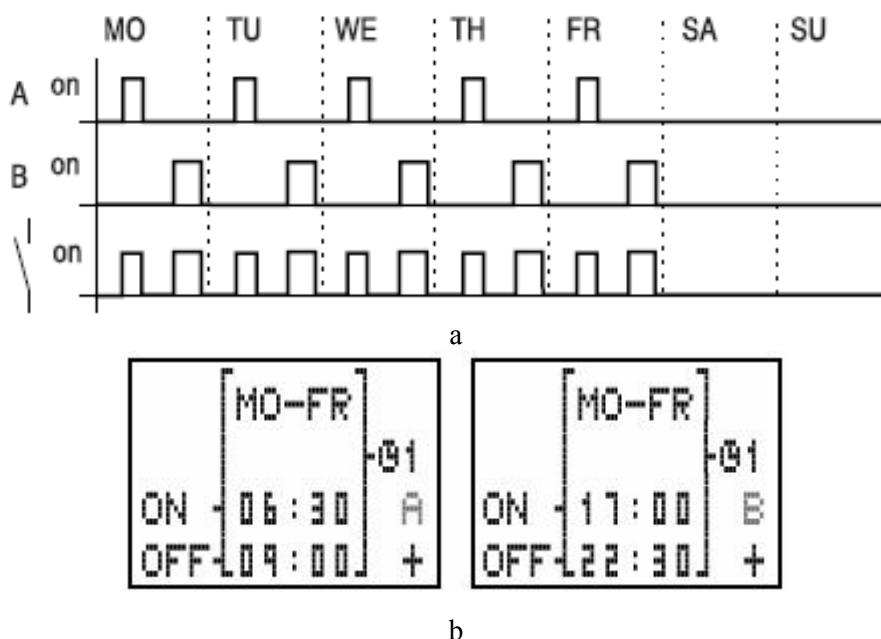


Fig.6.11
Releu de tip ceasornic

2.2.5. Comparator analogic

Modelele releelor inteligente *Easy* care sunt alimentate la 24 Vcc dispun de 8 comparatoare analogice (A1... A8). Ele monitorizează tensiunea senzorilor ce sunt conectați la intrările I7 și I8. Un comparator analogic poate realiza comparații referitoare la valorile tensiunilor de pe intrările I7 și I8, și anume: $I7 \geq I8$; $I7 \leq I8$; $I7 \leq \text{valoare setată}$; $I7 \geq \text{valoare setată}$; $I8 \leq \text{valoarea setată}$; $I8 \geq \text{valoare setată}$. Rezoluția tensiunii este de 0,1 V pentru valori ale tensiunilor cuprinse în domeniul (0,0 ... 10,0) V, respectiv 10,0 V pentru valori ale tensiunilor cuprinse în domeniul (10 ... 24) V. În Fig.6.12 este prezentată fereastra corespunzătoare comparatorului analogic în care trebuie precizat între

cine se va face comparația (între intrări sau între o intrare și o valoare setată) precum și felul acesteia.

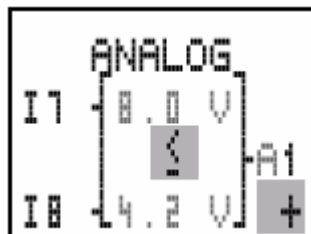


Fig.6.12

Setarea parametrilor comparatorului analogic

3. EasySoft- mediul de programare al releelor Easy

Programarea releului se poate face fie cu ajutorul tastelor aflate pe echipament, fie prin intermediul calculatorului folosind mediul de programare *EasySoft*, [4].

Mediul de programare *EasySoft* este folosit pentru crearea, salvarea, simularea și transferarea aplicațiilor către un releu *Easy* conectat la calculator. Acest software oferă posibilitatea afișării schemei circuitului realizat cât și afișarea parametrilor releului.

Pentru afișarea, editarea și listarea aplicației sunt disponibile următoarele posibilități:

- reprezentare simplificată specifică aparatului, ce corespunde afișajului releului;
- reprezentare conform IEC, cu simboluri de contact și bobină în concordanță cu normele internaționale;
- reprezentare cu simboluri conform setului de caractere ANSI (American National Standards Institute).

Pentru a crea o diagramă în *EasySoft*, pentru un releu inteligent *Easy*, trebuie ca mai întâi să se realizeze un proiect. Proiectul este format din echipamentul *Easy* (tipul de releu, ex: *Easy 412-DC-RC*) și din diagrama circuitului. După deschiderea programului *EasySoft* interfața oferită utilizatorului este formată din 3 secțiuni (Fig.6.13) și anume:

- fereastra [1] – casetă de echipamente/instrumente, în care se află echipamentele/instrumentele ce pot fi folosite;
- fereastra [2] – banc de lucru, în care este reprezentat echipamentul selectat;
- fereastra [3] – câmp de atribuire, în care sunt afișați parametrii echipamentului selectat (datele tehnice). Aici sunt incluse, de exemplu, numărul de intrări și ieșiri, alături de numărul de marcatori, relee de timp și de contorizare.

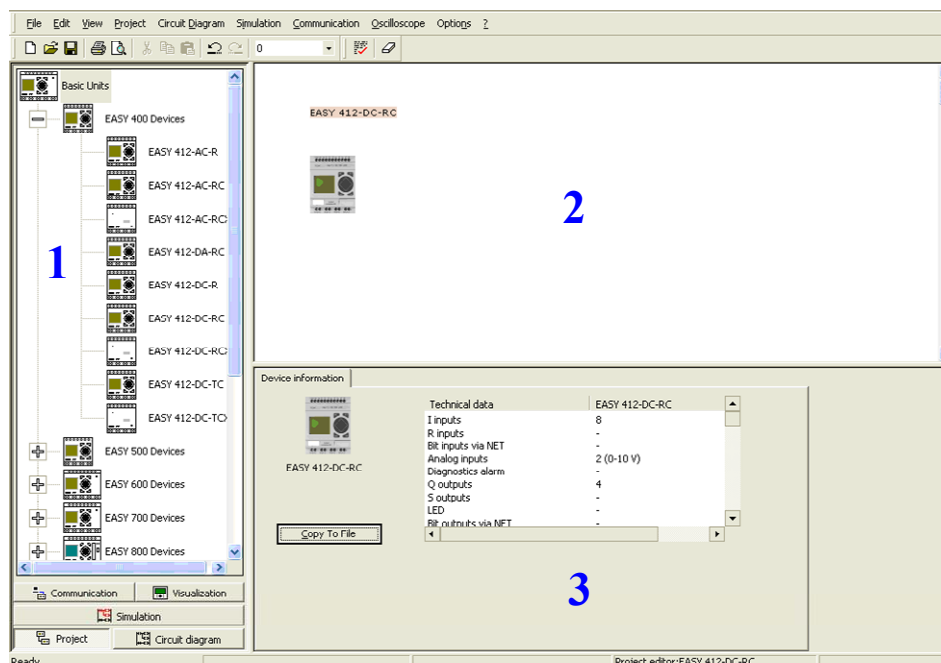


Fig.6.13

Pagina de start a programului EasySoft

După ce s-a ales releul inteligent se trece la cel de-al doilea mod de vizualizare și anume „Circuit Diagram” (diagrama/schema circuitului). Apelarea acestui mod de vizualizare se face prin dublu click stânga pe echipamentul ce trebuie programat aflat în zona [2] în modul de afișare “Project”, apăsând butonul *Circuit Diagram* - jos în *Caseta de instrumente* sau selectând opțiunea *Circuit Diagram* în meniul „View”. La fel ca și în cazul precedent și în acest mod de vizualizare, interfața grafică prezintă 3 ferestre, Fig.6.14.

În fereastra [1] - *casetă de instrumente* sunt vizibili, în acest mod de afișare, toți operanzii disponibili ai echipamentului selectat (intrări I, ieșiri Q, markeri M etc.). Fereastra [2]- *banc de lucru*, denumită în acest mod de afișare și “*Schemă de conexiuni*” este la început goală. Se face click în caseta de instrumente cu tasta stângă a mouse-ului, de exemplu pe operandul cu inscripția *I – Input basic unit*. Se menține apăsată tasta stângă a mouse-lui pe operandul selectat și se trage cursorul mouse-lui în dreapta sus, într-o cale de curent din cadrul schemei de conexiuni. În calea de curent se pot plasa operanzii pe un *Câmp de contacte* sau pe *Câmpul de bobine*.

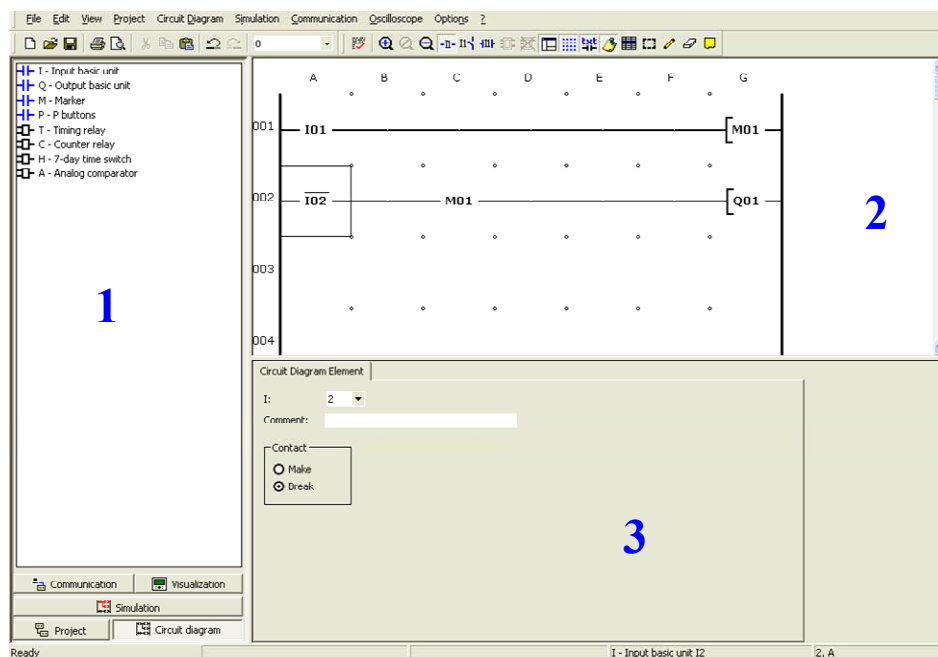


Fig.6.14

Pagina Circuit diagram a programului EasySoft

În schema de conexiuni, acest operand nou rămâne cu starea marcată, recunoscută după chenarul pătrat ce înconjoară operandul și poate fi parametrizat în fereastra [3] - *câmp de atribuire*, Fig.6.14. Parametrizarea începe de regulă cu stabilirea numărului operandului, pentru care se recomandă plecarea de la valoarea 1. Se selectează funcționalitatea de contact *normal închis* sau *normal deschis*, dacă s-au tras operanzii pe un *Câmp de contacte*. Alternativ, selectați o *funcție de bobină*, de ex. contactor, dacă ați tras operanzii pe *Câmpul de bobine*.

După ce se realizează schema de conexiuni, înainte de a se introduce programul în memoria releului *Easy* se realizează o simulare a funcționării schemei, în urma căreia se pot depista și modifica cu ușurință eventualele erori din schema de conexiuni.

Trecerea în modul de afișare „*Simulation*” se realizează apăsând butonul *Simulation* - jos în *Caseta de instrumente* sau selectând opțiunea *Simulation* în meniul „*View*”.

Pagina „*Simulation*” prezintă, de asemenea, trei zone și anume, Fig.6.15:

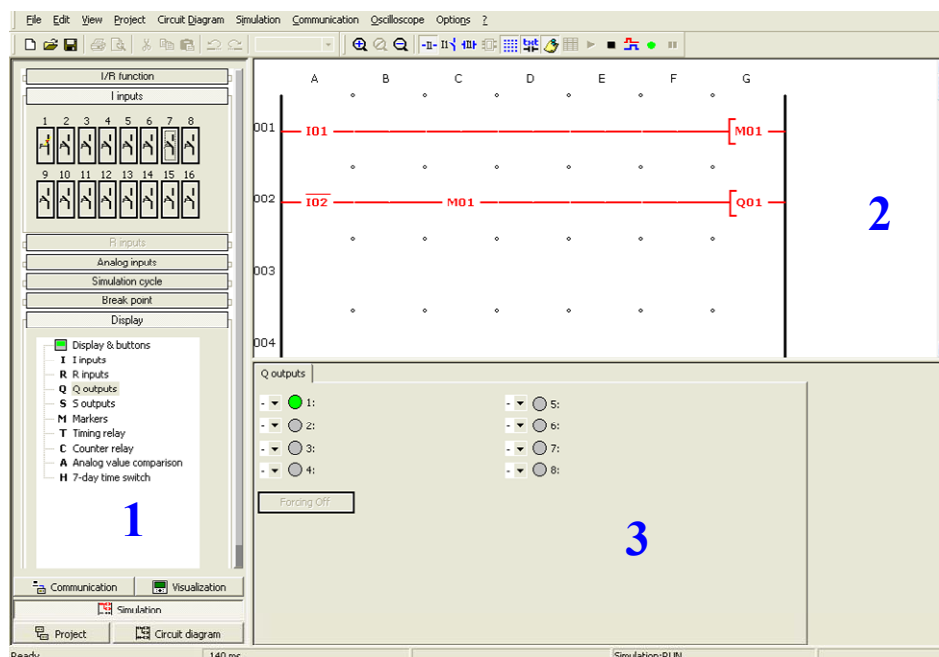


Fig.6.15

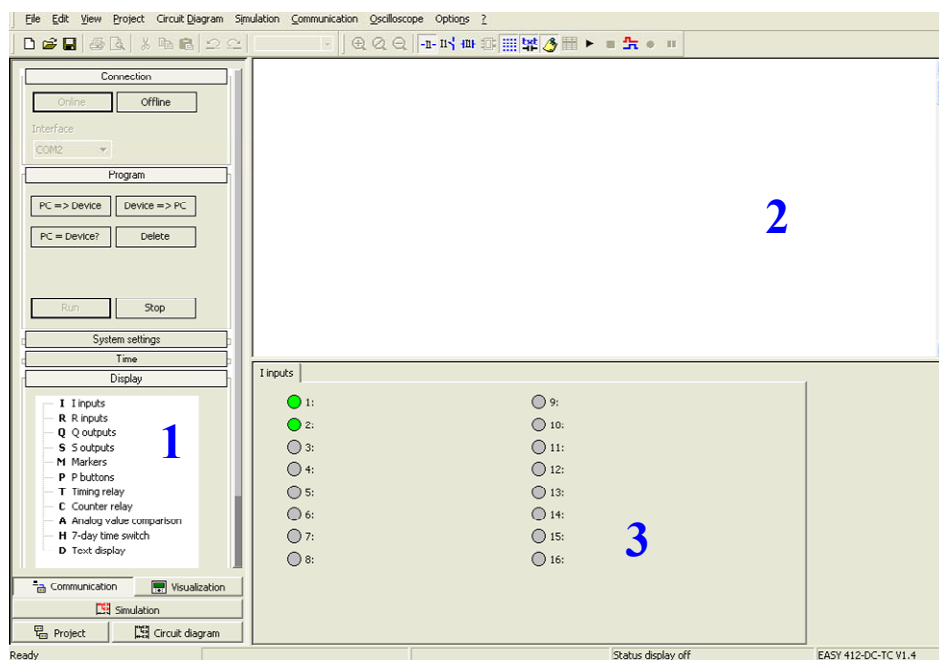
Pagina Simulation a programului EasySoft

- fereastra [1] în care se afișează intrările;
- fereastra [2] care este folosită pentru a afișa circulația de curent în diagrama realizată;
- fereastra [3] în care se afișează starea intrărilor, ieșirilor și a releelor intermediare.

Pentru a rula programul de simulare se apasă butonul *Start* simulare din partea de sus a paginii.

După ce s-a realizat simularea și schema funcționează corespunzător se poate încărca schema într-un relee inteligent *Easy* folosind modul de afișare „*Communication*”.

Trecerea în modul de afișare „*Communication*” se realizează apăsând butonul *Communication* - jos în *Caseta de instrumente* sau selectând opțiunea *Communication* în meniul „*View*”. Acest mod de afișare permite încărcarea unei aplicații atât de pe calculator pe relee cât și de pe relee pe calculator, Fig.6.16.

**Fig.6.16**

Pagina Communication a programului EasySoft

Conexiunea se configurează din meniul „Communication” prin selectarea opțiunii *Online* sau prin apăsarea butonului *Online* din caseta de dialog *Connection* în fereastra [1]- *Caseta de instrumente*.

Dacă se dorește a se realiza executarea/oprirea aplicației de pe calculator trebuie apăsăat butonul *Run*, care pornește rularea aplicației (schemei de conexiuni) în cadrul releului Easy, respectiv butonul *Stop*, care va opri rularea aplicației în cadrul releului, butoane care se afla în fereastra [1] - *Caseta de instrumente*, Fig.6.16.

4. Programul lucrării

a) Se studiază construcția și funcționarea releului *Easy 412 DC-RC* existent în laborator (intrări, ieșiri, funcționalitățile butoanelor, meniurile releului, programarea releului cu ajutorul butoanelor de pe acesta etc.).

b) Se studiază mediul de programare *EasySoft* utilizat în realizarea aplicațiilor pe relele inteligente (crearea unui proiect, a schemei de conexiuni, simularea funcționării unei aplicații, încărcarea unei aplicații de pe calculator pe releu etc.).

c) La propunerea cadrului didactic îndrumător se va realiza una sau mai multe din aplicațiile de mai jos folosindu-se pentru programarea releului *Easy* fie butoanele de pe panoul frontal al acestuia, fie mediul *EasySoft*.

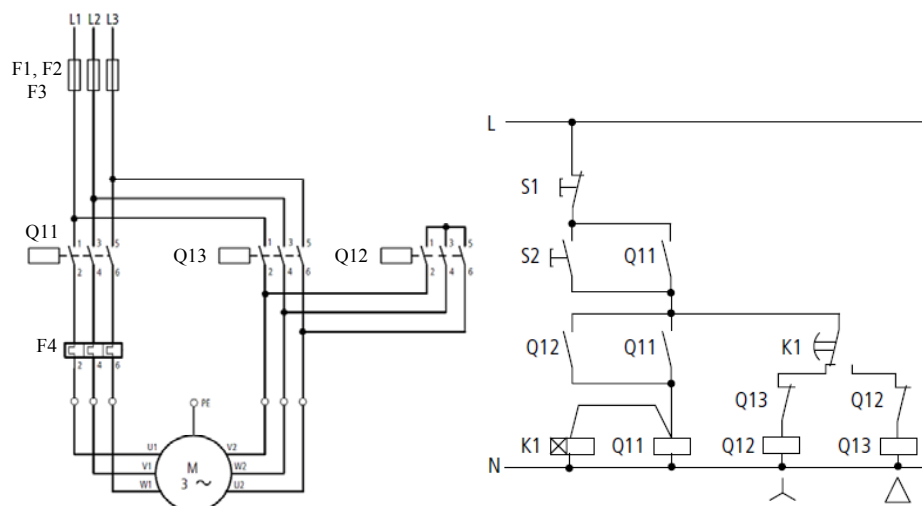
Aplicații posibile prin utilizarea releelor inteligente *Easy*:

- comanda anclanșării automate a rezervei;
- automatizarea mecanismelor de acționare de tip MR, respectiv MOP;
- automatizarea mecanismelor de acționare ale separatoarelor de înaltă tensiune;
- comanda pornirii stea-triunghi a motoarelor asincrone cu/fără schimbare de sens de rotație;
- comanda pornirii cu trepte de rezistență a motoarelor de curent continuu;
- comanda iluminatului spațiilor comerciale și al vitrinelor;
- comanda iluminatului casei scărilor, respectiv a iluminatului în funcție de timp;
- comanda iluminatului într-o hală de producție;
- comanda succesiunii unor benzi transportoare cu supravegherea motoarelor;
- comanda unor pompe de ridicare a presiunii;
- comanda semnalizării de nivel pentru o instalație de rezervoare;
- controlul ușilor de acces, respectiv a accesului într-o parcare;
- comanda unei porți rulante;
- comanda instalațiilor de aer condiționat;
- controlul temperaturii și al ventilației într-o incintă;
- comanda unei instalații frigorifice etc.

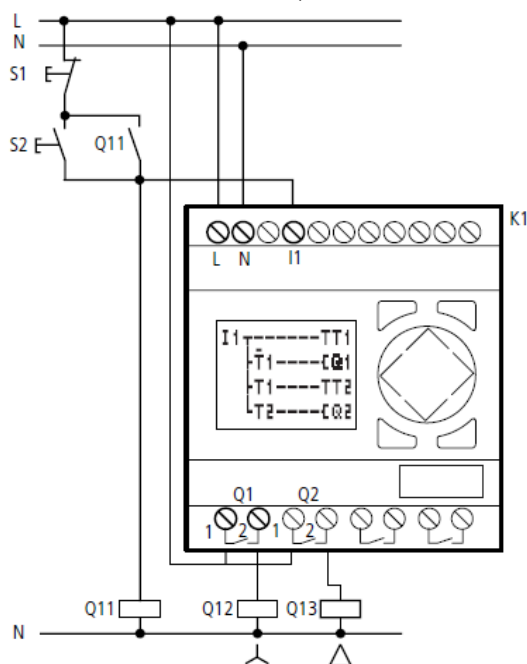
În continuare se prezintă, spre exemplificare, realizarea pornirii stea-triunghi a unui motor asincron trifazat cu ajutorul unui releu inteligent *Easy*. În Fig.6.17 se prezintă schema electrică de forță, respectiv de comandă (în logică cablată-clasică) a unui motor asincron trifazat.

Schema de comandă pentru pornirea stea-triunghi cu ajutorul unui releu inteligent *Easy 412* este dată în Fig.6.18.

Ca și în schema de comandă cablată, pornirea și oprirea motorului se realizează cu butoanele externe S1 și S2. Intrarea I1 a releului *Easy* sesizează închiderea contactorului de rețea Q11.

**Fig.6.17**

Pornirea stea-triunghi a unui motor asincron trifazat (schema de comandă cablată)

**Fig.6.18**

Schema de comandă, cu releu Easy, pentru pornirea stea-triunghi a unui motor asincron trifazat

Astfel, la apăsarea butonului S2 contactorul Q11, pe lângă închiderea contactelor principale de pe circuitul de forță, pornește și releul de timp T1 din *Easy*. Totodată este activată ieșirea Q1 care comandă închiderea contactorului Q12 ce asigură realizarea conexiunii stea a motorului. După trecerea temporizării reglate (10 ... 30 s) asigurată de T1, este dezactivată ieșirea Q1 și astfel deconectat contactorul stea, respectiv este pornit releul de timp T2. Acesta va asigura timpul de pauză dintre deconectarea contactorului stea Q12 și conectarea contactorului triunghi Q13. După trecerea timpului de pauză (30, 40, 50, 60 ms) este activată ieșirea Q2 a releului *Easy* care comandă închiderea contactorului Q13 ce asigură realizarea conexiunii triunghi a motorului.

Dacă releul *Easy* are un ceas de timp real integrat, se poate combina cu acesta pornirea stea-triunghi. Astfel, contactorul de rețea Q11 poate fi conectat și deconectat cu ajutorul releului *Easy*.

Unul dintre avantajele utilizării releului *Easy 412*, în acest caz, este faptul că se pot realiza două circuite de pornire stea-triunghi pentru două motoare, cu un singur releu. Totodată, relelele *Easy* oferă posibilitatea alegerii libere a timpilor de comutare a contactoarelor pentru conexiunea stea respectiv triunghi, precum și a timpului de pauză dintre deconectarea contactorului stea și conectarea contactorului triunghi.

5. Conținutul referatului

- ❑ Note privind caracteristicile tehnice și funcționale ale releului cu logică programabilă existent în laborator (intrări, ieșiri, funcționalitățile butoanelor, meniurile releului, programarea releului cu ajutorul butoanelor de pe acesta etc.).
- ❑ Etapele programării unui releu cu logică programabilă.
- ❑ Schemele de forță, de comandă în logică cablată, respectiv folosind releul inteligent.
- ❑ Observații și concluzii.

6. Bibliografie

- [1] Pancu C., Adam M., Baraboi A., *Echipamente cu logică programabilă* (îndrumar de laborator), Editura "Politehnicum" Iași, 2013.
- [2] * * *, Easy 412, Easy 600. User Manual, Moeller GmbH, Bonn, 2000.
- [3] * * *, Easy 800. User Manual, Moeller GmbH, Bonn, 2004.
- [4] * * *, EasySoft v6.0, Moeller.

Lucrarea nr. 7

Contactoare electromagnetice de curent alternativ

1. Caracteristici constructive și funcționale ale contactoarelor electromagnetice

Contactoarele sunt echipamente de comandă cu o singură poziție de repaus, acționate altfel decât manual, capabile să stabilească, să mențină și să întrerupă curenți în regimuri normale de funcționare a instalațiilor, inclusiv curenți de suprasarcină.

Contactoarele cu contacte pot fi acționate pe seama unor surse de energie de diferite naturi (mecanică, hidraulică, pneumatică etc.); o mare răspândire o au contactoarele electromagnetice, la care acționarea se obține cu ajutorul electromagneților.

Uneori, contactoarelor electromagnetice li se asociază blocuri de relee termice pentru protecția la suprasarcină, echipamentul astfel obținut numindu-se contactor cu relee sau contactor automat.

Principalele elemente componente ale oricărui tip de contactor electromagnetic sunt: organul motor, căile de curent, dispozitivele de stingere a arcului electric de deconectare, relele de protecție (atunci când există), șasiul și carcasa.

Contactoarele electromagnetice de c.a. se construiesc în variantă tripolară; organul motor al acestora este un electromagnet de c.c. sau c.a.

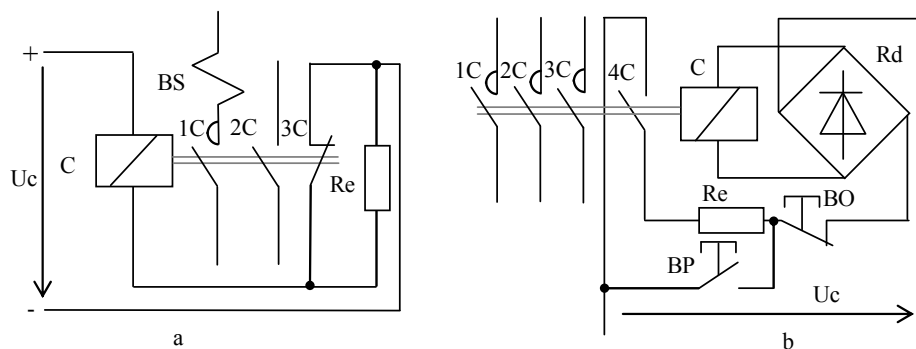
Căile de curent conțin bornele de conexiuni, contactele principale și eventualele legături flexibile prin care se asigură continuitatea circuitului primar. Contactele auxiliare sunt constituite sub forma unui bloc suplimentar, conținând contacte normal închise sau (și) normal deschise, având capacitatea de comutare mai mică decât cea a contactelor principale și care sunt utile în circuitele secundare de semnalizare și comandă.

În zona contactelor principale ale contactoarelor sunt amplasate camere de stingere, ca dispozitive specializate pentru stingerea arcului electric de deconectare.

Șasiul și carcasa unui contactor sunt formate din elemente care asigură izolația electrică, ghidarea pieselor în mișcare și fixarea mecanică.

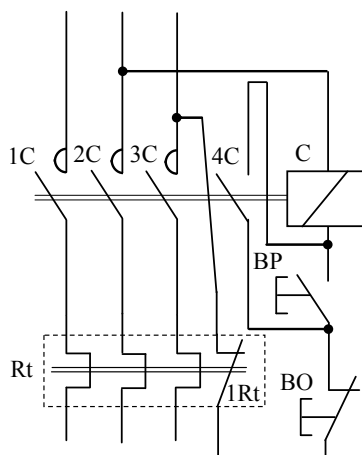
Schemele pentru comanda unui contactor sunt diferite, după cum electromagnetul de acționare este de c.c. sau de c.a.

În cazul acționării cu electromagneți de c.c., este posibilă dimensionarea economică a bobinei, dată fiind alura caracteristicii electromecanice; corespunzător acesteia, forța activă dezvoltată la întrefier minim depășește cu mult forța necesară asigurării presiunii pe contacte.

**Fig.7.1**

Scheme pentru comanda contactoarelor electromagnetice

În aceste condiții, după acționare, intensitatea curentului prin bobina electromagnetului poate fi diminuată la valorile necesare menținerii contactorului în această poziție. Aceasta se obține prin utilizarea, în schema de comandă, a unei rezistențe economizoare, R_e ; schemele tipice de acționare cu electromagneți de c.c. sunt date în Fig.7.1a-pentru contactoare de c.c., respectiv în Fig.7.1b, pentru contactoare de c.a. La acționare, pe o durată egală cu timpul propriu, întreaga tensiune de comandă, U_c , se aplică bobinei electromagnetului, forțându-se astfel regimul tranzitoriu al acestuia. După acționare, rezistența economizoare R_e este introdusă în circuit prin deschiderea unui contact auxiliar normal închis (3C, Fig.7.1a) sau prin închiderea unui contact auxiliar normal deschis (4C, Fig.7.1b). În schema din Fig.7.1b, contactul 4C realizează și automenținerea comenzii de acționare, dată prin apăsarea butonului BP; revenirea se obține prin întreruperea circuitului bobinei cu ajutorul butonului BO.

**Fig.7.2**

Schemă de comandă pentru un contactor de c.a.

Pentru comanda contactoarelor de c.a. cu electromagneți de curent alternativ, se utilizează scheme electrice de tipul celei reprezentate grafic în Fig.7.2. Comanda se face cu buton dublu (BP, BO), contactul auxiliar 4C servind pentru automenținere. În cazul contactoarelor cu relee termice, Rt, contactul normal închis, 1Rt, al acestora se înscrie în circuitul bobinei. Contactoarele de c.a. se clasifică după categoria de utilizare conform Tab.7.1.

Tab.7.1

Simbolul categoriei de utilizare	Aplicații caracteristice
AC-1	Sarcini neinductive sau ușor inductive
AC-2	Pornire, frânare, întrerupere motor asincron cu rotor bobinat
AC-3	Pornire (demaraj), oprire motoare asincrone cu rotor în scurtcircuit
AC-4	Pornire, oprire, inversare sens, mers în impulsuri pentru a obține curse mici pentru motoare asincrone cu rotor în scurtcircuit
AC-5a	Comutarea lămpilor cu vapori de mercur
AC-5b	Comutarea lămpilor cu incandescență
AC-6a	Comutarea transformatoarelor
AC-6b	Comutarea bateriilor de condensatoare
AC-7a	Comutarea sarcinilor slab inductive pentru aplicații domestice și similare
AC-7b	Alimentarea motoarelor electrice pentru aplicații domestice și similare
AC-8a	Comanda pentru compresoare etanșe din instalații frigorifice
AC-8b	Alimentarea cu reanclanșare automată a declanșatoarelor de suprasarcină

2. Variante constructive

Contactoarele electromagnetice de c.a. se construiesc în variantă tripolară, deplasarea armăturii mobile fiind de translație sau de rotație.

Contactoarele cu mișcare de translație simplă, Fig.7.3a, se utilizează în instalații trifazate de joasă tensiune având intensitatea curentului nominal de cel mult 100A.

Construcția contactorului cuprinde contactele fixe 1, contactele mobile de tip punte 2, resortul precomprimat 3, resorturile de deschidere 4 și electromagnetul de acționare având armătura fixă 5, bobina 6 și armătura mobilă 7. Piese de contact sunt realizate din material Ag-CdO.

În Fig.7.3b sunt reprezentate grafic curbele $F_a(\delta)$ – caracteristica electromecanică a electromagnetului de acționare și $F_r(\delta)$ – caracteristica forței rezistente; cu δ_b , δ_c , δ_t sunt notate respectiv cursele liberă, în contact și totală, corespunzătoare armăturii mobile a electromagnetului.

Creșterea forței rezistente F_r pe intervalul cursei libere, δ_b , este rezultatul comprimării resorturilor de deschidere 4; în momentul atingerii contactelor, forța rezistentă variază prin salt datorită resortului precomprimat 3 care comprimându-se în continuare pe intervalul cursei în contact, δ_c , asigură în final forța necesară de apăsare în contact.

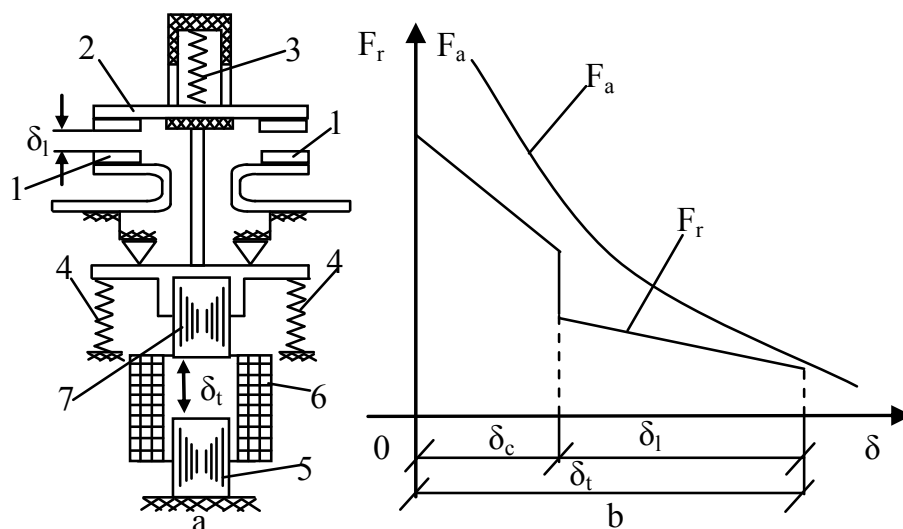


Fig.7.3

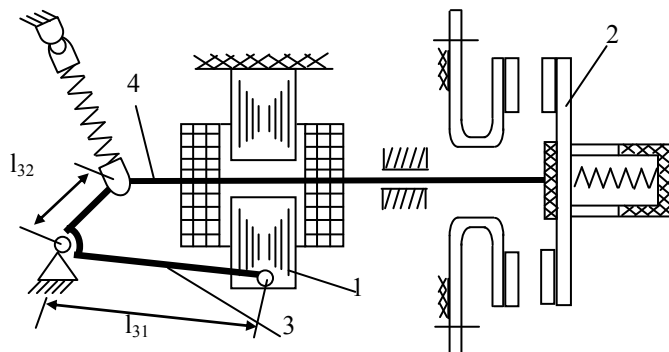
Contactor de c.a. cu mișcare de translație

Contactele de tip punte, cu întrerupere în două locuri pe pol, facilitează stingerea arcului electric de deconectare. Contactoarele având curenți nominali mai mici de 10 A nu sunt prevăzute cu camere de stingere; la contactoarele de curenți mai mari, camerele de stingere sunt cu fantă îngustă și cu grile metalice, stingerea arcului electric obținându-se pe principiul efectului de electrod.

Pentru a se evita creșterea excesivă a uzurii mecanice, contactoarele având intensitatea curentului nominal de (100 ... 400)A se construiesc cu mișcare de translație combinată. Această soluție permite compensarea creșterii masei pieselor în mișcare prin micșorarea vitezei echipajului mobil la acționare, astfel încât energia cinetică a acestuia să nu crească foarte mult; pe această cale uzura mecanică poate fi menținută între limite acceptabile.

Transmisia mișcării de la armătura mobilă 1 a electromagnetului de acționare, Fig.7.4, la echipajul mobil 2, se face prin intermediul pârghiilor 3, 4; deoarece, prin construcție se asigură că $l_{31} \cong 2l_{32}$, viteza echipajului mobil rezultă de aproape două ori mai mică decât viteza armăturii mobile a electromagnetului. Varianta prezentată are și avantajul unui acord mai bun între forța activă dezvoltată de electromagnet și forța rezistentă.

Contactoarele de c.a. cu mișcare de rotație se construiesc pentru curenți nominali cu intensități de valori mari (400...2000)A. Acționarea acestora se realizează cu un electromagnet de c.a. a cărui armătură mobilă rotește un ax izolant, pe care sunt fixate contactele mobile ale celor trei faze și blocul de contacte auxiliare.

**Fig.7.4**

Contacteur de c.a. cu mișcare de translație combinată

Adoptarea acestei variante constructive pentru curenți cu intensități de valori mari se bazează pe optimizarea consumului de materiale conductoare și feromagnetice necesare în construcția contactorului. În comparație cu contactoarele având mișcare de translație, varianta cu mișcare de rotație necesită forțe de apăsare în contact de două ori mai mici, prin aceasta diminuându-se mult dimensiunile de gabarit ale electromagnetului de acționare, cât și consumul propriu al acestuia.

3. Relee pentru protecția la suprasarcină a instalațiilor electrice

3.1. Relee electrotermice de curent

Releele electrotermice sunt echipamente de protecție care, acționând asupra unui echipament de comutație, produc întreruperea alimentării unui consumator, la o anumită temperatură a elementului sensibil al releului. Elementul sensibil, sau traductorul, este o lamelă din bimetal. Releele electrotermice de curent, denumite și rele termobimetalice se utilizează, mai ales, pentru protecția instalațiilor electrice, împotriva încălzirilor excesive ca urmare a funcționării mașinilor la suprasarcini de lungă durată. Aceste rele sunt cunoscute sub numele de blocuri de rele termice sau rele termice tripolare, construindu-se în variantă trifazată.

Releele termice utilizează proprietatea bimetalului de a-și modifica forma și starea în funcție de încălzire. Dacă bimetalesle aflate pe căile de curent principale se deformează datorită unei suprasarcini trifazate, acestea acționează asupra unei punți de declanșare (1) și a unei punți diferențiale (2), Fig.7.5. La atingerea valorii limită reglate, o pârghie de declanșare comună comandă comutarea contactului auxiliar. Puntea de declanșare și cea diferențială sunt situate la distanțe mici, simetric, în apropierea bimetaleslor. În cazul în care la căderea unei faze unul dintre bimetales se deformează mai puțin decât celelalte

două (sau își revine), puntea de declanșare și cea diferențială se vor deplasa pe distanțe diferite. Diferența de deplasare (3) dintre cele două punți este convertită într-o mișcare suplimentară în sensul declanșării, determinând accelerarea acesteia, Fig.7.5.

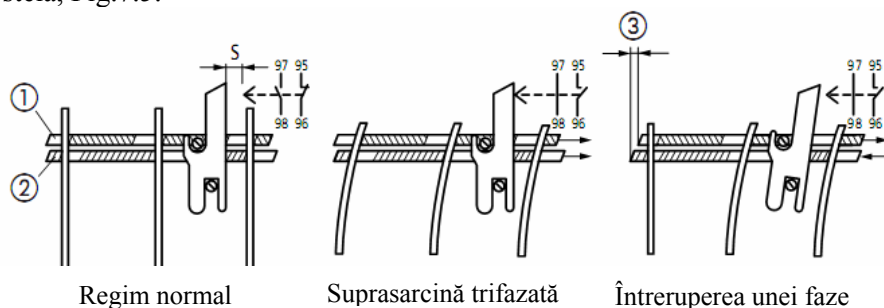


Fig.7.5

Comportarea bimetalului la trecerea curentului electric

Releele termice din această categorie sunt conectate direct în circuitul de alimentare a motorului, curentul trecând prin acestea încălzește lamelele bimetal. Releul termic de suprasarcină este realizat în construcție tripolară având lamelă bimetal pe fiecare fază. Bimetalul, ca răspuns al deformării sale sub influența căldurii, acționează asupra unor contacte auxiliare și schimbă poziția acestora.

În Fig.7.6 este reprezentat un releu termic, TA25-DU-1.0, conectat la bornele de ieșire ale contactorului tripolar A9-30-10 (11), produse de firma ABB, [2]. Una din caracteristicile principale ale releului termic TA25-DU-1.0 este că are domeniul de reglaj al curentului termic I_t între limitele $(0,63...1) \cdot I_n$, unde I_n reprezintă curentul nominal al blocului de rele termice. Elementele componente ale releului termobimetalic, Fig.7.6, sunt: 1-borne de intrare (L1, L2, L3); 2-borne de ieșire (T1, T2, T3); 3-șurub de reglaj a curentului termic, I_t ; 4-șurub pentru selectarea modului de resetare a contactelor auxiliare (manuală sau automată); 5-buton de resetare a stării contactelor; 6-LED pentru indicarea declanșării; 7-buton pentru testare manuală a funcționării protecției; 8, 9-borne ale contactelor auxiliare (normal închis, bornele 95-96; normal deschis, bornele 97-98); 10-carcasă din material izolant cu rezistență termică ridicată.

În Fig.7.7 este dată caracteristica de protecție a releului termobimetalic, caracteristică care arată dependența dintre timpul de acționare al releului și valoarea curentului care parcurge bimetalul. Se constată că o dată cu creșterea curentului ce parcurge bimetalul timpul de acționare al releului scade.

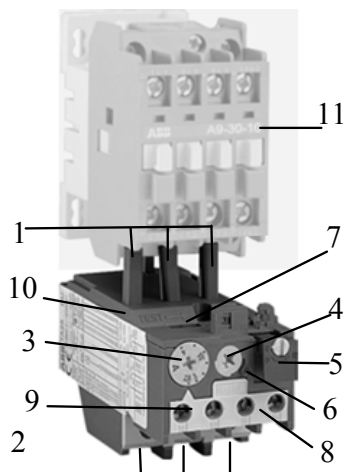


Fig.7.6

Releul termic-imagine de ansamblu

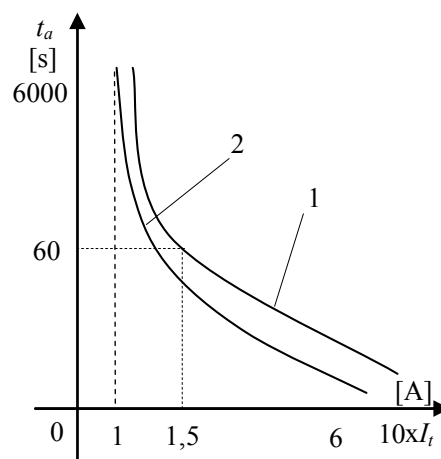


Fig.7.7

Caracteristicile de declanșare ale releului

Curba 1 este caracteristica de protecție timp-curent a releului atunci când bimetalul pleacă din stare rece, iar curba 2 este caracteristica de protecție atunci când bimetalul pleacă din starea caldă.

Caracteristica de protecție timp-curent a unui releu termic tripolar trebuie să respecte condițiile funcționale precizate în Tab.7.2, [1].

Tab.7.2

Intensitatea I_{sc} a curentului de verificare	Timpul de acțiune, t_a	Observații*
$1,05 \cdot I_t$	$> 2 \text{ h}$	Pornind din starea rece
$1,20 \cdot I_t$	$< 2 \text{ h}$	Pornind din starea caldă
$1,50 \cdot I_t$	$< 2 \text{ minute}$	Pornind din starea caldă
$6,00 \cdot I_t$	$> 2 \text{ s sau } > 5 \text{ s}$	Pornind din starea rece

* Notă:

1. În starea rece, temperatura releelor este egală cu temperatura mediului ambiant.
2. În starea caldă, temperatura releelor este egală cu temperatura de regim permanent corespunzătoare curentului reglat, de intensitate I_t .

3.2. Relee electronice pentru protecția motoarelor

Sistemele electronice de protecție a motoarelor permit reglarea curentului de declanșare într-o gamă de curenți mult mai extinsă comparativ cu cea a releelor termice electromecanice cu bimetal. În cazul releului electronic de protecție ZEV, [3], domeniul de protecție este (0... 820)A.

Releul electronic ZEV realizează protecția motoarelor atât prin supravegherea indirectă a temperaturii, prin intermediul curentului, cât și direct cu ajutorul unor termistoare. În cazul metodei indirecte, prin urmărirea

curentului cu ajutorul unor traductoare sau senzori de curent, se realizează protecția motorului la suprasarcină, la căderea fazelor și la curent asimetric. Pentru urmărirea directă a temperaturii în înfășurarea motorului se folosesc unul sau mai multe termistoare. În cazul apariției unei supratemperaturi, semnalul obținut de la termistoare este transmis releului electronic care va comuta un contact din circuitul de comandă al contactorului ce permite alimentarea motorului.

În Fig.7.8 este prezentată imaginea de ansamblu a releului electronic ZEV.

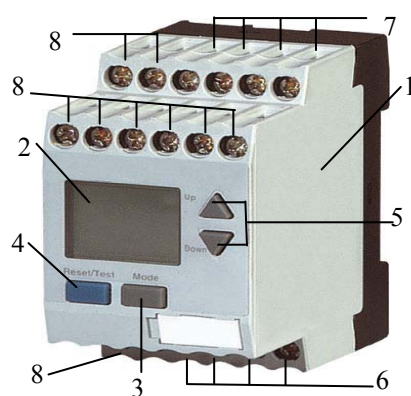


Fig.7.8

Releul electronic ZEV-vedere de ansamblu

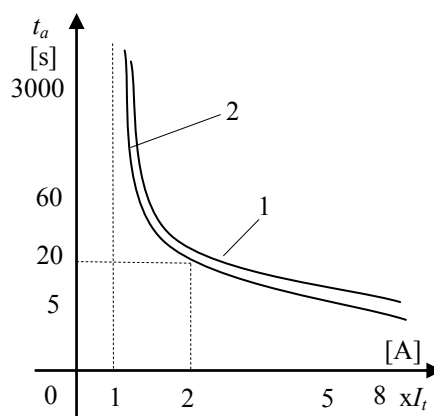


Fig.7.9

Caracteristica de declanșare

Elementele componente ale releului ZEV sunt: 1-carcasa din material izolant; 2-afișaj (LCD); 3-buton selecție mod de lucru; 4-buton reset/test; 5-taste de navigare în meniul releului; 6-borne de conexiune pentru contacte (un contact NÎ, respectiv unul ND); 7-borne de conexiune pentru contactele programabile (NÎ, ND); 8-borne de conexiune pentru conectarea sursei de alimentare, transformatorului, termistoarelor, resetării manuale, împământării.

Declanșarea suprasarcinii simetrice tripolare la un curent mai mare decât curentul reglat, I_t , se produce într-un timp stabilit de clasa de declanșare. Acesta se setează prin intermediul unui meniu, cu ajutorul tastelor și se afișează pe ecranul cu cristale lichide a releului.

Caracteristicile de declanșare, Fig.7.9, indică: timpul de declanșare, t_a , în funcție de curent (multiplu al curentului reglat I_t) pornind din starea rece, curba 1. Timpul de declanșare se reduce cu 15% în raport cu cel din starea rece, în funcție de preîncărcarea motorului, curba 2. Caracteristica de protecție timp-curent a releului electronic ZEV, trebuie să respecte condițiile funcționale precizate și anume: $t_a < 30$ min, atunci când curentul este de până la 115 % din curentul nominal; $t_a > 2$ h, atunci când curentul este de până la 105 % din curentul nominal pornind din stare rece.

4. Programul lucrării

4.1. Standul experimental

Standul experimental pentru verificarea contactoarelor electromagnetice reprezintă un ansamblu de echipamente electrice: contactoare electromagnetice, întrerupătoare automate de joasă tensiune, sistem de contacte auxiliare, relee de protecție, instrumente de măsură (ampermetru și voltmetru), lămpi de semnalizare, butoane și chei de comandă.

O imagine de ansamblu a standului experimental este prezentată în Fig.7.10, care conține diferite tipuri constructive de contactoare produse de firma ABB, și anume:

- contactorul AL 9-30-10 (K3) de tip tripolar, cu un contact auxiliar normal deschis, tensiunea nominală $U_n = 1000$ V, 50/60 Hz, curentul nominal $I_n = 25$ A, tensiunea nominală a bobinei este de 277 V la frecvența de 60Hz și 230-240V la frecvența de 50 Hz;
- contactorul AF 145-30-22 de tip tripolar cu patru contacte auxiliare: 2 NÎ și 2 ND, $U_n = 1000$ V c.a., $I_n = 250$ A, caracteristicile bobinei: $U_b = 100$ V-250 V la 50/60 Hz;
- contactorul TAL 40-30-10 de tip tripolar cu un contact ND, $U_n = 1000$ V, $I_n = 65$ A, caracteristicile bobinei: $U_b = 17-32$ Vcc;

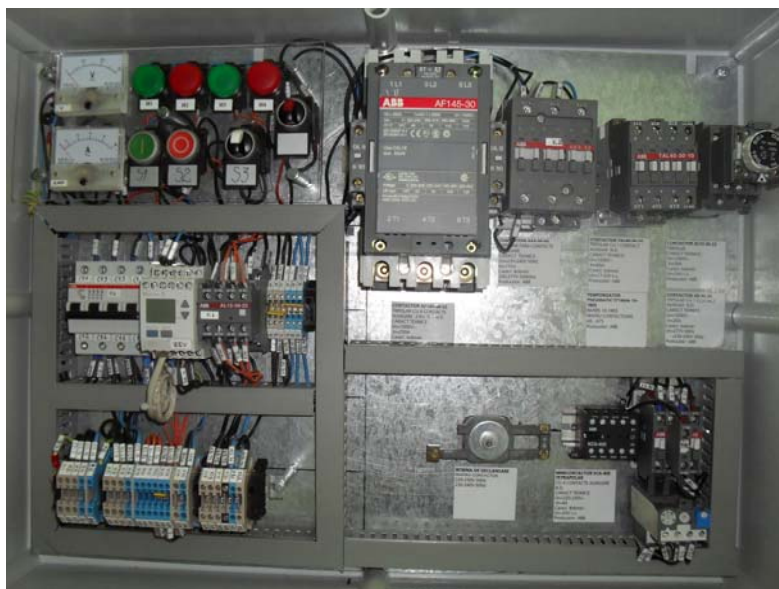
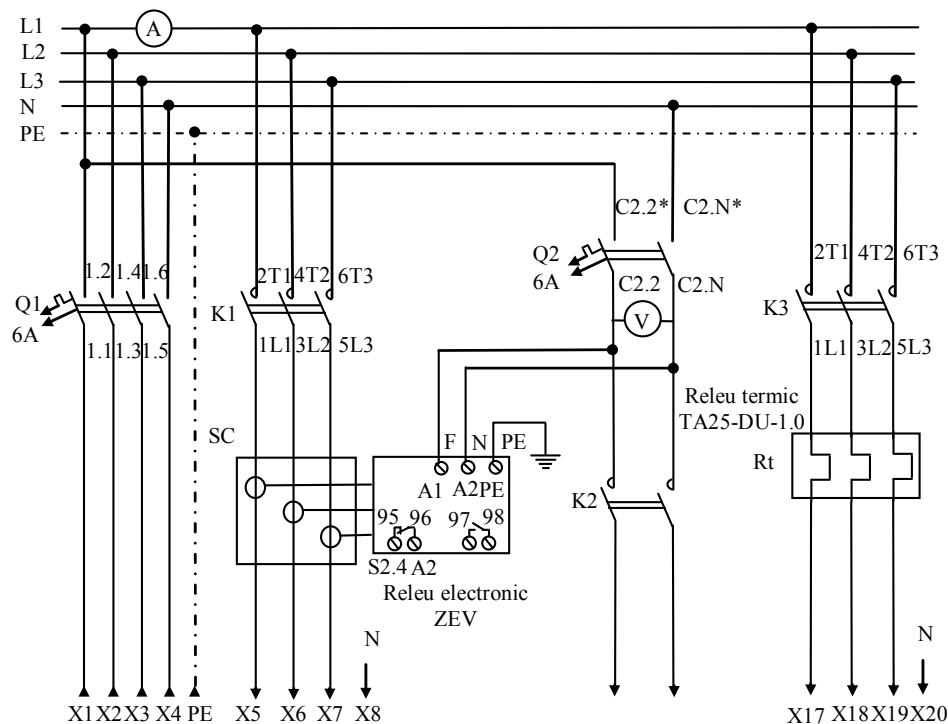


Fig.7.10
Stand experimental

**Fig.7.11**

Schema electrică multifilară de forță a standului

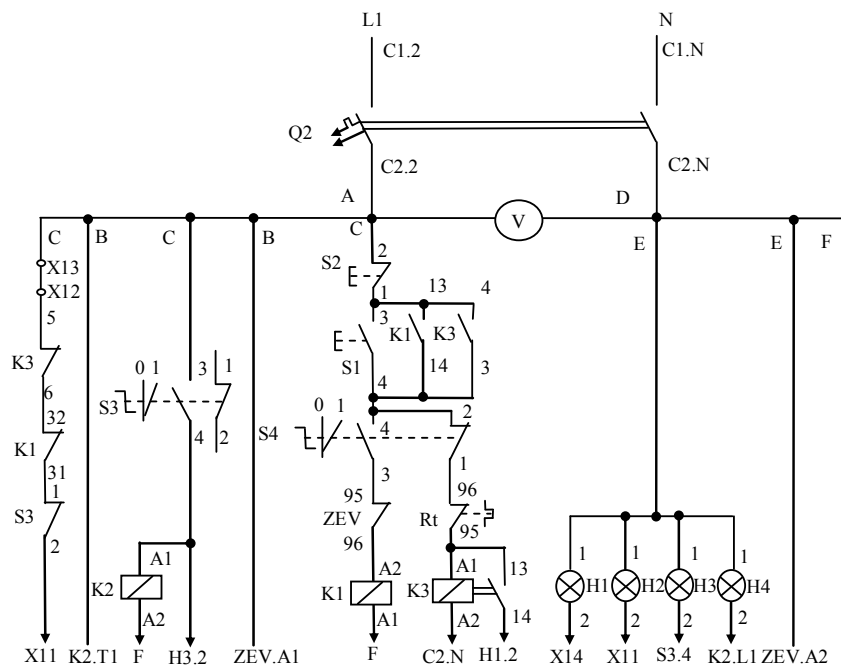
- contactorul A 63-30-00 (K2) tripolar fără contacte auxiliare, $U_n=230-240$ V la frecvența 50 Hz, $I_n=115$ A, caracteristicile bobinei: $U_b = 240-277$ V la 50/60 Hz;

- contactorul AL 12-30-22 (K1) de tip tripolar, cu un contact auxiliar ND, $U_n=1000$ V, $I_n=28$ A, caracteristicile bobinei: $U_b = 240-277$ V la 50/60 Hz;

- minicontactorul KC6-40E de tip tetrapolar cu 4 contacte auxiliare ND, $U_n=220-230$ V c.a., $I_n=4$ A, caracteristicile bobinei: $U_b=24$ Vcc.

În Fig.7.11 și Fig.7.12 sunt date schema electrică multifilară de forță, respectiv schema de comandă și semnalizare a standului, stand ce va permite verificarea funcționării contactoarelor electromagnetice din punct de vedere al tensiunii de alimentare a bobinelor și a protecției la suprasarcină.

Panoul de comandă și semnalizare al standului are rolul de a controla, comanda și semnaliza funcționalitatea din punct de vedere al alimentării bobinei electromagnetului și al declanșării la suprasarcină a contactorului verificat, Fig.7.13. Panoul este compus din butoane cu revenire, normal deschis S1, respectiv normal închis S2, chei de comandă cu doua poziții cu automenținere S3 și S4, lămpile de semnalizare H1, H2, H3 și H4, voltmetru și ampermetru.

**Fig.7.12**

Schema de comandă și semnalizare a standului

**Fig.7.13**

Panoul de comandă și semnalizare

4.2. Studiul construcției contactoarelor electromagnetice de c.a.

Se studiază contactoarele existente la lucrare, identificându-se elementele constructive; se urmărește construcția releului termic tripolar și a releului electronic de tip ZEV. Se notează tipul și parametrii nominali ai echipamentelor studiate.

4.3. Verificarea funcționării electromagnetului de acționare

Configurația schemei de forță și comandă pentru verificarea funcționării electromagnetului de acționare al contactorului K2 este prezentată în Fig.7.14.

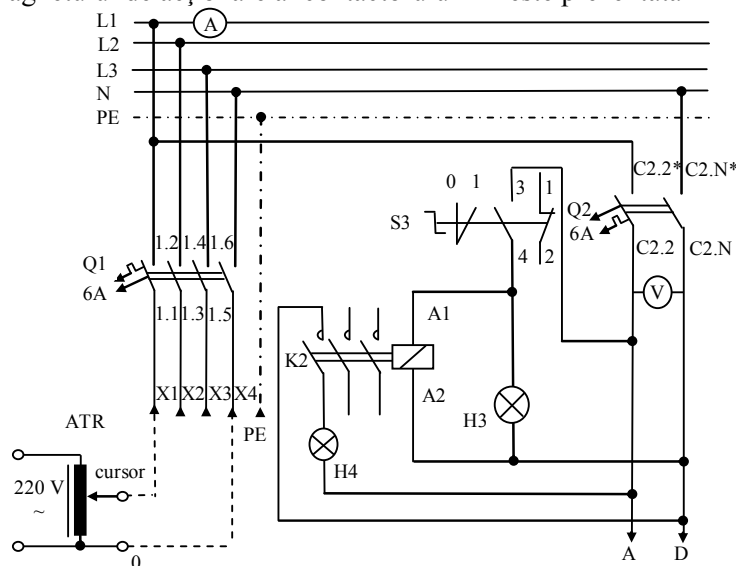


Fig.7.14

Schema pentru verificarea electromagnetului de acționare al contactorului

Pentru verificarea tensiunii de alimentare a bobinei electromagnetului contactorului se parcurg următoarele etape:

- se alimentează standul experimental, prin conectarea unui autotransformator la bornele de racord ale standului X1, respectiv X4;
- se închid întrerupătoarele automate Q1 (tip tetrapolar, $I_n=6$ A, $U_n=230$ V), pentru protecția circuitului de forță, respectiv Q2 (tip bipolar, $I_n=6$ A, $U_n=230$ V), pentru protecția circuitului de comandă și semnalizare;
- se trece cheia de comandă cu două poziții S3, pe poziția 1, astfel se realizează alimentarea bobinei contactorului verificat, K2, starea obținută fiind semnalizată de lampa verde H3;
- se crește succesiv tensiunea de alimentare a bobinei contactorului K2, cu ajutorul autotransformatorului ATR, până când contactele contactorului se atrag, acest lucru fiind semnalizat de către lampa roșie H4.
- pentru deschiderea contactorului se trece S3 pe poziția deschis.

Tensiunea de la bornele bobinei contactorului este indicată de voltmetrul V.

Datele obținute la verificarea alimentării bobinei contactorului se trec în Tab.7.3, în care sunt precizate condițiile impuse funcționării electromagnetului de acționare.

Tab.7.3

Contactor tip, $U_n = \dots$ [V], $I_n = \dots$ [A] Electromagnet de c.a., $U_b = \dots$ [V]			
Tensiunea de încercare	Starea contactorului Î-închis D-deschis	Specificația	Observații
$1,05 \cdot U_b = \dots$ [V]	Î	Încălzirea de regim permanent a bobinei nu depășește limitele admisibile.	
$0,85 \cdot U_b = \dots$ [V]	D	Contactorul poate fi închis.	
$0,70 \cdot U_b = \dots$ [V]	Î	Contactorul se menține închis, admitându-se ușoare vibrații.	
$0,35 \cdot U_b = \dots$ [V]	Î	Scăzând tensiunea de la valoarea $0,70 U_b$, contactorul se deschide la valoarea U_r , unde $0,35 U_b < U_r < 0,70 U_b$	

4.4. Verificarea caracteristicii de protecție timp-curent a releului electronic ZEV

Pentru verificarea caracteristicii de protecție timp-curent se parcurg următorii pași:

- se realizează legăturile electrice (cele cu linie punctată) urmărindu-se schema electrică din Fig.7.15 (bornele de ieșire ale autotransformatorului ATR-8 la bornele de racord X1, respectiv X4 ale standului; bornele sarcinii monofazate-reostatul reglabil R la bornele X15 și X16 ale standului; bornele NÎ ale secundometrului, din secțiunea START, la bornele X9 și X10 ale standului, respectiv bornele ND, din secțiunea STOP, la bornele 97 și 98 ale releului ZEV);

- se închid întrerupătoarele automate Q1, respectiv Q2;
- se setează releul de protecție ZEV, cu ajutorul tastelor și a meniului;
- se reglează rezistența de sarcină la valoarea maximă;
- se trece cheia de comandă cu două poziții S4, pe poziția 1 și se apasă butonul cu revenire S1, astfel încât se realizează alimentarea bobinei contactorului K1, starea realizată fiind semnalizată de lampa verde H1;
- se reglează valoarea rezistenței de sarcină, R, cu ajutorul cursorului acesteia pentru a obține diferite valori ale curentului de suprasarcină. Curentul de suprasarcină, I_{sc} , fiind indicat de către ampermetrul A;
- cu ajutorul secundometrului se măsoară timpul de declanșare al contactorului K1, deschiderea acestuia fiind semnalizată de către lampa H2;
- contactorul K1 se poate deschide și prin apăsarea butonului S2.

Datele obținute la verificarea la suprasarcină se trec în Tab.7.4. Se trasează caracteristica de protecție timp-curent, $t_a(I_{sc})$, obținută în urma încercărilor experimentale a releului ZEV și se compară cu cea dată de firma constructoare.

6' ale contactorului K3, respectiv bornele ND, din secțiunea STOP, la bornele 97 și 98 ale releului TA25-DU-1.0), conform Fig.7.16;

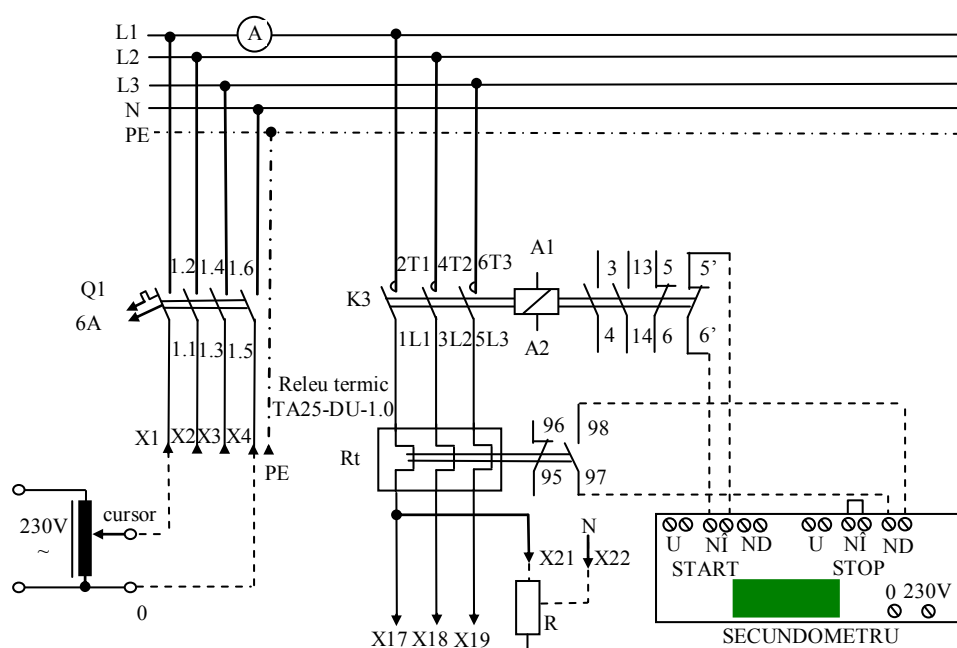


Fig.7.16

Schema pentru verificarea releului termic tripolar

- se setează releul termic prin intermediul șurubului de reglare a curentului termic, I_t ;
- se trece cheia de comandă cu două poziții S4, pe poziția 0, iar prin apăsarea butonului cu revenire S1, se realizează alimentarea bobinei contactorului, K3, respectiv se comandă închiderea contactorului, acest lucru fiind semnalizat de lampa verde H1.

Datele obținute la verificarea la suprasarcină se trec în Tab.7.5, în vederea trasării caracteristicii curent de suprasarcină-timp de declanșare a releului termic tripolar.

Tab.7.5

Contactor tip: , $I_n =$ [A], $U_n =$ [V], $U_b =$ [V]					
Releu termic tripolar tip , $I_t =$ [A]					
I_{sc} [A]					
t_a [s]					

5. Conținutul referatului

- ❑ Parametrii și caracteristicile constructive ale contactoarelor și releelor studiate.
- ❑ Schemele electrice ale montajelor utilizate pentru încercări.
- ❑ Tabelele de date completate, trasarea caracteristicilor de protecție timp-curent.
- ❑ Observații și concluzii.

6. Bibliografie

- [1] Adam M., Baraboi A., *Echipamente electrice (vol.II)*, Editura “Gh. Asachi” Iași, 2002.
- [2] ***, Releul termic tripolar TA25-DU (Carte tehnică), ABB.
- [3] ***, Releul electronic ZEV (Carte tehnică), Moeller.

Lucrarea nr. 8

Înterupătoare de joasă tensiune tip miniatură

1. Generalități. Parametrii nominali

Înterupătoarele automate de joasă tensiune sunt echipamente de comutație cu sau fără contacte, având tensiuni nominale până la 1000 V în c.a. și până la 1200 V în c.c., capabile să stabilească, să mențină și să întrerupă atât curenții corespunzători regimurilor normale de funcționare a instalațiilor cât și curenții de scurtcircuit, proprii regimurilor de defect.

Pe lângă funcția de comutație, întrerupătoarele automate de joasă tensiune asigură și protecția instalațiilor în care sunt amplasate, în acest scop fiind prevăzute cu declanșatoare sensibile la supracurenți, la scăderea tensiunii de alimentare etc.

Construcțiile actuale de întrerupătoare automate de joasă tensiune sunt în mod obișnuit de tip disjunct, la care operația de închidere se face manual, iar cea de deschidere poate fi efectuată manual sau automat, în ultimul caz sub acțiunea declanșatoarelor de protecție. La construcțiile de tip disjunct-conjunct este posibilă și reanclanșarea automată.

Un parametru nominal important al întrerupătoarelor automate de joasă tensiune îl constituie tensiunea nominală U_n , definită ca valoarea cea mai mare a tensiunii care poate apare în funcționarea normală a instalației în care se află întrerupătorul.

Curentul de intensitate I_n , pe care căile de curent principale ale unui întrerupător automat de joasă tensiune îl pot suporta un timp nelimitat în condiții prescrise de utilizare și funcționare, fără depășirea limitelor admisibile de temperatură, se numește curent nominal.

Valorile nominale ale tensiunii, U_n și ale intensității curentului I_n pe care trebuie să le aibă echipamentele electrice de joasă tensiune, implicit întrerupătoarele automate, sunt date în Tab.8.1.

Tab.8.1

Tensiunea nominală, U_n [V]	c.a.	24; 36; 48; 110; 127; 220/230; 380/400; 500; 660; 1000
	c.c.	24; 48; 110; 125; 220/230; 250; 400; 500; 800 (1000)
Curentul nominal, I_n [A]		0,5; 1; 1,6; 2; 2,5; 3; 4; (5); 6; 8; 10; 13; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100; (125); 160; 200; 250; 315; 400; 630; 800; 1000; 1250; 1600; 2000; 2500; 3150 (3200); 4000; 5000; 6000 (6300)

Capacitatea nominală de rupere (deconectare) a unui întrerupător se exprimă prin intensitatea I_{pr} a curentului pe care acesta este capabil să-l întrerupă pentru o tensiune dată și în condiții prescrise de utilizare și funcționare.

Tab.8.2

I_{pr} [kA]	$\cos\varphi$	I_l/I_{pr}
5	0,70	1,50
5 10	0,50	1,70
10 20	0,30	2,00
20 50	0,25	2,10
50	0,20	2,20

capacitatea de rupere, I_{pr} ; în Tab.8.2 sunt prezentate valori orientative în acest sens, [1].

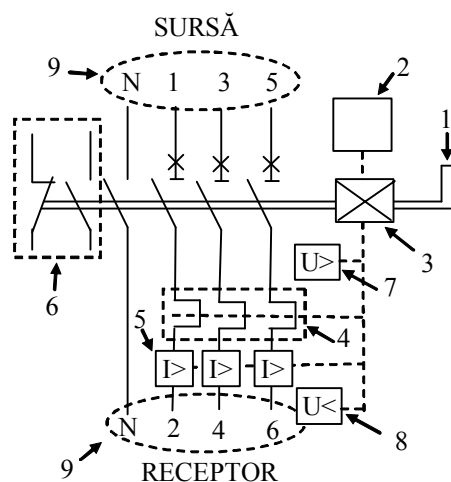


Fig.8.1

Elementele constructive ale unui întrerupător automat

vedere prezintă interes cunoașterea caracteristicii timp-curent, curbă care stabilește dependența dintre timpul de funcționare, t_a și intensitatea curentului prezumat simetric (valoare efectivă) care produce deschiderea automată a întrerupătorului, prin declanșatoarele de protecție. Această caracteristică este reglabilă, alura ei tipică fiind prezentată în Fig.8.2. La montarea unui întrerupător într-o instalație este necesar ca intensitatea curentului nominal al acestuia să fie mai mare sau cel puțin egală cu intensitatea curentului nominal al instalației.

Intensitatea I_R , a curentului reglat al declanșatoarelor maxime de curent, se stabilește egală cu intensitatea curentului nominal al instalației. Dacă se notează:

$$I_* = \frac{I_{sc}}{I_R}, \quad (8.1)$$

Capacitatea nominală de închidere (conectare) reprezintă intensitatea I_l a curentului pe care întrerupătorul automat de joasă tensiune îl poate stabili sub o tensiune de valoare dată și în condiții de utilizare și funcționare prescrise.

În mod obișnuit, capacitatea de conectare, I_l , are valori mai mari decât

Principalele elementele componente ale unui întrerupător automat de joasă tensiune de tip disjuncteur tetrapolar sunt prezentate în Fig.8.1, unde s-au notat: 1-manetă pentru acționare manuală, 2-dispozitiv de acționare, 3-mecanism de zăvorâre, 4-declanșator termic, 5-declanșator electromagnetic, 6-bloc de contacte auxiliare, 7-declanșator de maximă tensiune, 8-declanșator de minimă tensiune, 9-borne de conexiuni, [1].

Întrerupătoarele automate de joasă tensiune sunt prevăzute cu declanșatoare maxime de curent prin care se realizează protecția instalațiilor la supracurenți (curenți de suprasarcină și de scurtcircuit). Din acest punct de

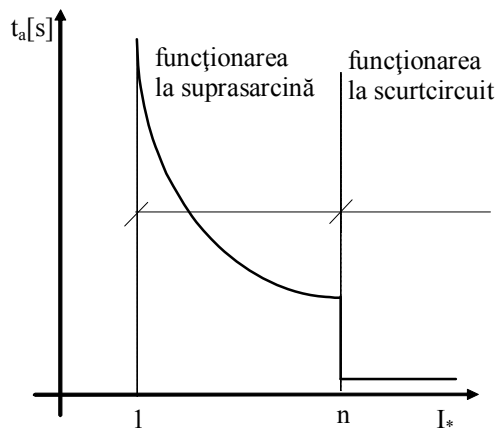


Fig.8.2

Caracteristica de protecție timp-curent

I_{sc} fiind intensitatea supracurentului care trebuie întrerupt, potrivit caracteristicii timp-curent, Fig.8.2, declanșatoarele maxime de curent realizează protecția temporizată la suprasarcină ($1 < I_* < n$) și protecția netemporizată (instantanee) la curenți de scurtcircuit ($I_* \geq n$). În funcție de tipul declanșatorului, multiplul n al intensității supracurentului relativ, I_* , poate avea valori constante sau reglabile. Relativ la funcționarea întrerupătoarelor automate de joasă tensiune, se definesc următoarele durate:

- durata de deschidere, ca interval de timp dintre momentul apariției unui supracurent și cel al amorsării arcului electric pe toți polii;
- durata de arc, reprezentând intervalul de timp dintre momentul amorsării arcului electric la primul pol și momentul stingerii acestuia la toți polii;
- durata de rupere (funcționare), ca sumă între duratele de deschidere, respectiv de arc.

Ținând seama de definițiile date, caracteristica timp-curent poate fi prezentată în două variante: caracteristica de protecție, în care se consideră duratele de deschidere, respectiv caracteristica de întrerupere, referitoare la duratele de rupere.

Pentru a se evita funcționarea unor consumatori (electromotoare) cu tensiuni de alimentare scăzute, întrerupătoarele automate de joasă tensiune sunt prevăzute cu declanșatoare de minimă tensiune care comandă deschiderea automată a întrerupătorului la scăderea tensiunii de serviciu sub o valoare prescrisă, respectiv blochează conectarea întrerupătorului dacă tensiunea nu depășește o anumită valoare.

2. Echipamente electrice de joasă tensiune tip miniatură

2.1. Construcția și funcționarea întrerupătoarelor automate de joasă tensiune tip miniatură

Principalele tipuri de întrerupătoare automate de joasă tensiune sunt:

- întrerupătoare automate de joasă tensiune miniatură (*miniature circuit breakers*);

- întrerupătoare automate de joasă tensiune în carcasă electroizolantă turnată (*molded/moulded case circuit breakers*);
- întrerupătoare automate de joasă tensiune în construcție deschisă (*air circuit breakers*).

Întrerupătoarele automate de joasă tensiune miniatură acoperă gama curenților nominali de la 0,5 A la 100 A, cu valori ale capacității de rupere de: 3 kA, 4,5 kA, 6 kA, 10 kA, 25 kA. Aceste întrerupătoare sunt echipamente modulare, cu montare pe șină metalică (tip DIN).

În funcție de numărul de poli, ele pot fi: monopolare (1P), bipolare (1P+1N, 2P), tripolare (3P), tetrapolare (3P+1N, 4P), unde P semnifică faptul că polul are elemente de protecție, iar N că acestea nu sunt prezente pe pol.

Întrerupătoarele automate de joasă tensiune miniatură pot avea următoarele tipuri de caracteristici de protecție (Fig.8.3): B, C, D, K, S, Z. Tab.8.3 conține date privind declanșatorul termic și cel electromagnetic corespunzătoare acestor caracteristici de protecție, pentru întrerupătoarele miniatură tip S 200/S 200 M (fabricație ABB), [2]. Caracteristicile de protecție ale acestor întrerupătoare de regulă nu sunt reglabile, intensitatea supracurentului relativ I^* fiind dată de relația (8.1) în care valoarea curentului reglat I_R este înlocuită cu valoarea curentul nominal I_n al întrerupătorului automat miniatură.

Tab.8.3

Tipul caracteristicii	Curent nominal, I_n [A]	Declanșator termic ^(*)			Declanșator electromagnetic ^(**)	
		I_1	I_2	Timp de acționare	Domeniul declanșării instantanee	Timp de acționare
B	6 ... 63	$1,13 \cdot I_n$	$1,45 \cdot I_n$	$> 1 \text{ h}$ $< 1 \text{ h}^{(***)}$	$3 \cdot I_n$ $5 \cdot I_n$	$0,1-45 \text{ s } (I_n < 32 \text{ A}) / 0,1-90 \text{ s } (I_n > 32 \text{ A})$ $< 0,1 \text{ s}$
C	0,5 ... 63	$1,13 \cdot I_n$	$1,45 \cdot I_n$	$> 1 \text{ h}$ $< 1 \text{ h}^{(***)}$	$5 \cdot I_n$ $10 \cdot I_n$	$0,1-15 \text{ s } (I_n < 32 \text{ A}) / 0,1-30 \text{ s } (I_n > 32 \text{ A})$ $< 0,1 \text{ s}$
D	0,5 ... 63	$1,13 \cdot I_n$	$1,45 \cdot I_n$	$> 1 \text{ h}$ $< 1 \text{ h}^{(***)}$	$10 \cdot I_n$ $20 \cdot I_n$	$0,1-4 \text{ s } (I_n < 32 \text{ A}) / 0,1-8 \text{ s } (I_n > 32 \text{ A})$ $< 0,1 \text{ s}$
K	0,5 ... 63	$1,05 \cdot I_n$	$1,2 \cdot I_n$	$> 1 \text{ h}$ $< 1 \text{ h}^{(***)}$	$10 \cdot I_n$ $14 \cdot I_n$	$> 0,2 \text{ s}$ $< 0,2 \text{ s}$
Z	0,5 ... 63	$1,05 \cdot I_n$	$1,2 \cdot I_n$	$> 1 \text{ h}$ $< 1 \text{ h}^{(***)}$	$2 \cdot I_n$ $3 \cdot I_n$	$> 0,2 \text{ s}$ $< 0,2 \text{ s}$

Notă:

- I_1 este curentul convențional de ne-declanșare, iar I_2 curentul convențional de declanșare;

- ^(*), declanșatorul termic este calibrat la temperatura ambiantă de: 30 °C pentru B, C, D, respectiv 30 °C pentru K, Z. Dacă temperatura ambiantă este mai mare, valorile curenților I_1 și I_2 scad cu 6% la fiecare creștere a temperaturii cu 10 K;

- (**), valorile timpilor de acționare ale declanșatoarelor electromagnetice sunt pentru montare în instalații de 50/60 Hz. Declanșatorul termic funcționează independent de frecvență;

- (***) , dacă anterior declanșatorul termic a funcționat la curentul I_l o durată de peste 1 oră.

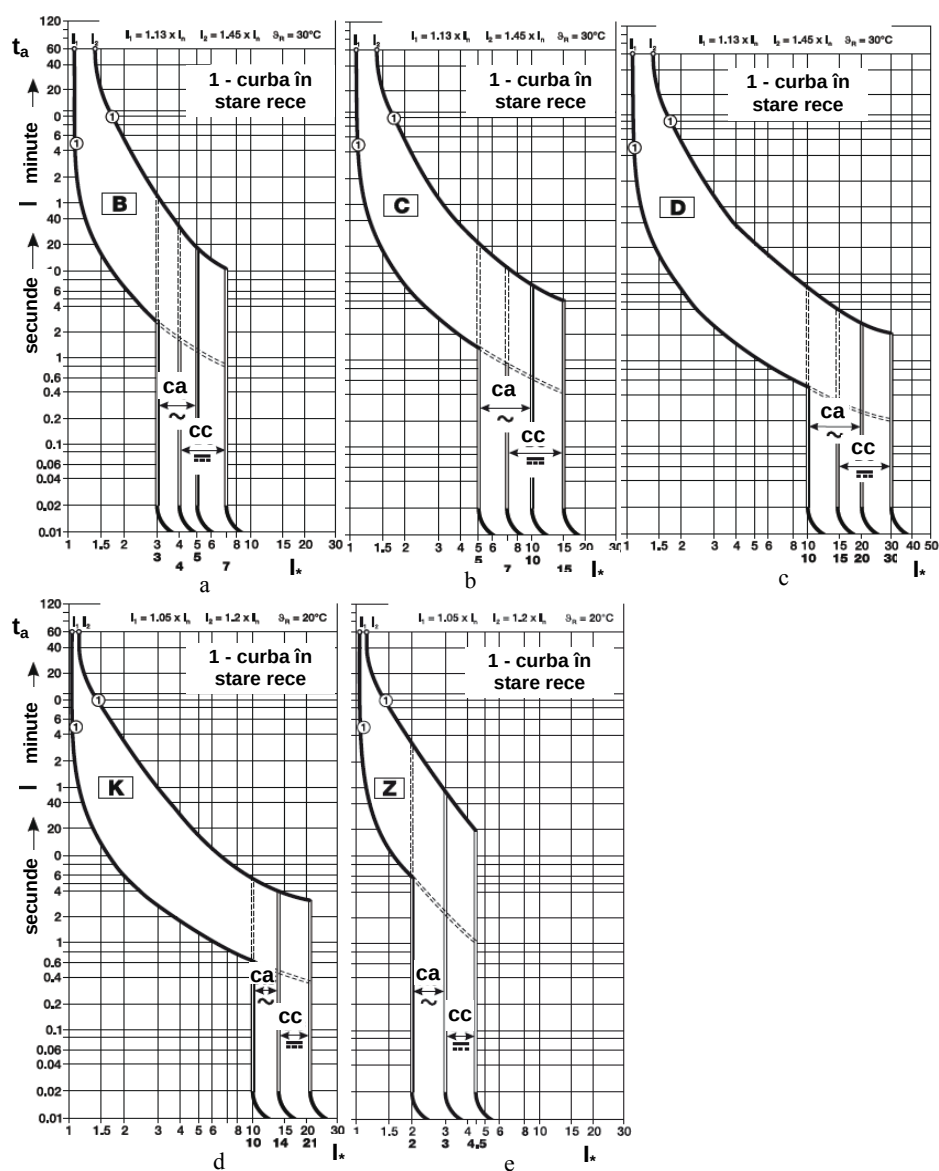
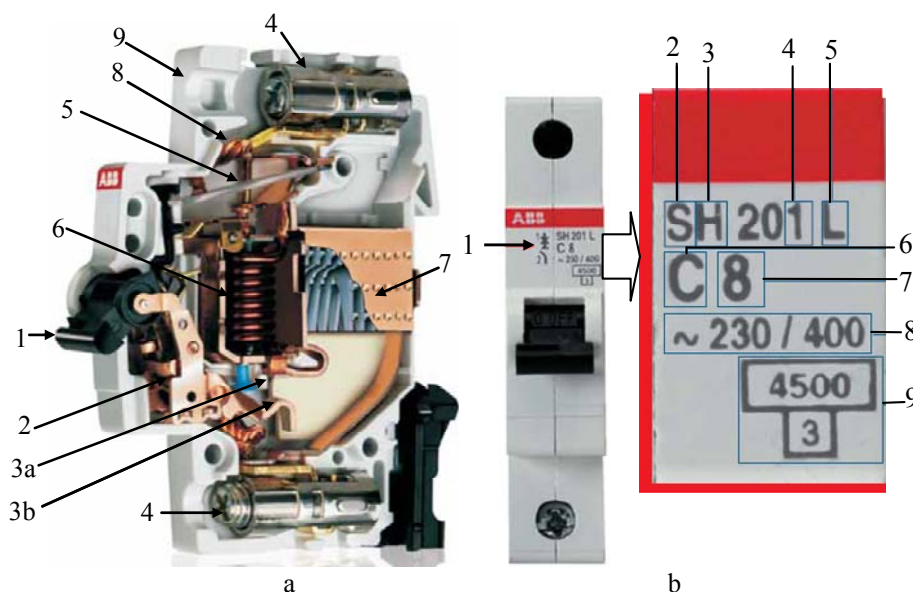


Fig.8.3

Caracteristicile de protecție (declanșare) de tip: a-B; b-C; c-D; d-K; e-Z.

**Fig.8.4**

*Întrerupător automat de joasă tensiune-tip miniatură: a-elemente constructive;
b-date tehnice disjunctoare monopolar de tip SH 201 L, fabricat de ABB.*

Elementele constructive principale ale unui întrerupător automat de joasă tensiune miniatură sunt prezentate în Fig.8.4a, unde s-a notat: 1-manetă de acționare, 2-mecanism de acționare, 3a-contact fix, 3b-contact mobil, 4-borne de racord, 5-declanșator termic (lamelă bimetalică), 6-declanșator electromagnetic, 7-camera de stingere cu plăcuțe feromagnetice, 8-legătură flexibilă, 9-carcasă izolantă.

În Fig.8.4b este dată partea frontală a unui întrerupător automat de joasă tensiune miniatură (fabricație ABB) unde notațiile au următoarele semnificații: 1-schema de conexiune, 2-familia întrerupătoarelor de care aparține (S), 3-varianta constructivă (H-home), 4-număr de poli (1 pol), 5-capacitatea de rupere ($L=4,5$ kA, $T=3$ kA), 6-caracteristica de protecție (C), 7-curent nominal (8 A), 8-tensiunea nominală (230/400 Vca), 9-capacitatea de rupere și clasa de limitare (4500 A, 3-se referă la I^2t în $[A^2s]$ și pentru caracteristica de protecție C valoarea este 30 kA^2s), [2].

Camerele de stingere funcționează pe principiul efectului de electrod, fiind în acest scop prevăzute cu grile feromagnetice între care coloana arcului este introdusă sub acțiunea forțelor electrodinamice de nișă, [1].

Este cunoscut că arcul electric scurt de c.a. se reamorsează, după schimbarea polarității curentului, dacă între electrozi se aplică o tensiune de circa 150 250 V, în măsură să asigure gradientul de potențial necesar smulgerii electronilor din noul catod. Dacă arcul electric este divizat între

grilele metalice ale camerei de stingere, tensiunea necesară reamorsării arcului se multiplică; în acest fel se creează condițiile corespunzătoare stingerii definitive a arcului electric, tensiunea sursei de alimentare devenind la un moment dat insuficientă pentru reamorsarea lui.

Potrivit acestor considerente, numărul n de grile necesare pentru o cameră de stingere, se calculează cu relația:

$$n = \frac{1.5\gamma\sqrt{2}U_n k}{\sqrt{3}U_{cm}}, \quad (8.2)$$

$\gamma=1,4 \dots 1,6$ reprezentând factorul de amplitudine al tensiunii tranzitorii de restabilire, U_n —tensiunea nominală, $k=1,2\dots 1,3$ —coeficientul de neuniformitate, $U_{cm}\leq 100$ V—tensiunea dintre doi electrozi la care arcul electric nu se mai reamorsează.

Efectul de nișă este dat de forțele electrodinamice de atracție a arcului electric în nișele, dreptunghiulare sau triunghiulare, ale grilelor feromagnetice.

Deionizarea și stingerea arcului electric sunt favorizate de contactul coloanei acestuia cu pereții reci ai camerei de stingere.

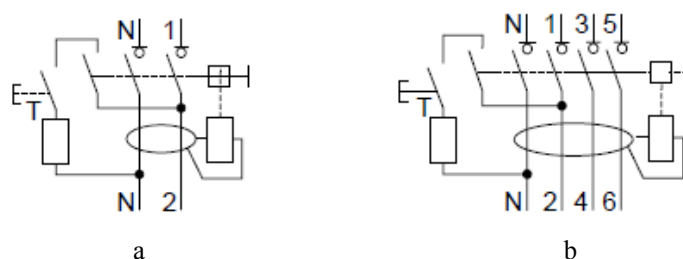
2.2. Echipamente de protecție la curent rezidual

Aceste echipamente au rolul de a detecta curenții de scurgere (reziduali) la pământ și de a deconecta circuitele electrice dacă curenții reziduali au depășit o anumită valoare. Curenții reziduali apar datorită deteriorării izolației circuitelor electrice.

Principiul de funcționare se bazează pe faptul că suma curenților care parcurg conductoarele unui circuit monofazat sau trifazat echilibrat este egală cu zero, dacă nu există curenți reziduali. La apariția curenților reziduali suma diferă de zero, iar la depășirea unei valori prestabilite a acesteia, echipamentul de protecție deconectează circuitul electric alimentat.

În funcție de tipul constructiv, echipamentele de protecție la curenți reziduali, denumite și echipamente de protecție diferențială, pot fi:

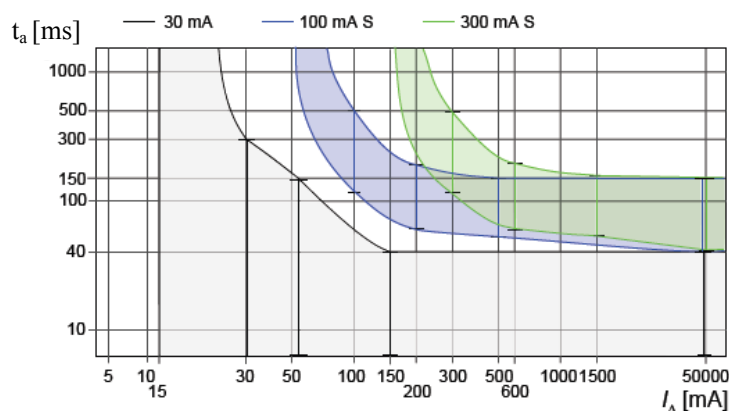
- *întrerupătoare cu protecție diferențială* care asigură protecția circuitelor la apariția unor curenți de scurgere la pământ;
- *întrerupătoare automate cu protecție diferențială* care asigură atât protecția împotriva curenților de scurgere la pământ, cât și funcțiile specifice unui întrerupător automat de joasă tensiune (protecție la scurtcircuit, respectiv suprasarcină);
- *blocuri de protecție diferențială*, care se atașează întrerupătoarelor automate și, împreună, realizează aceleași funcții ca și întrerupătoarele automate cu protecție diferențială.

**Fig.8.5**

Scheme electrice ale întrerupătorului cu protecție diferențială: a-cu 2 poli; b-cu 4 poli.

Aceste echipamente sunt destinate utilizării în domeniul rezidențial, comercial și industrial și sunt disponibile în variantele cu 2, respectiv 4 poli. Blocurile de protecție diferențială se întâlnesc și în varianta cu 3 poli. În Fig.8.5 sunt prezentate scheme electrice ale întrerupătorului cu protecție diferențială cu 2, respectiv 4 poli.

Curentul nominal de scurgere la pământ, $I_{\Delta n}$, poate avea, în funcție de sensibilitatea echipamentului de protecție diferențial, una din următoarele valori: 10, 30, 100, 300, 500 mA. În Fig.8.6. este reprezentată caracteristica de protecție timp-curent de scurgere la pământ, $t_a(I_{\Delta})$, curentul nominal de scurgere la pământ având una din valorile de 30, 100 și 300 mA, pentru întrerupătorul cu protecție diferențială tip Ex9CL-H (fabricație Noark), [3].

**Fig.8.6**

Caracteristici de protecție timp-curent rezidual, $t_a(I_{\Delta})$

În Fig.8.7 este dată partea frontală a unui întrerupător cu protecție diferențială (fabricație ABB) unde notațiile au următoarele semnificații, [2]: 1- familia întrerupătoarelor de care aparține (F), 2- varianta constructivă (H-home), 3- număr de poli (2 poli), 4-tipul curentului (AC-echipament sensibil la curent rezidual alternativ sinusoidal, A echipament sensibil atât la curent rezidual

alternativ sinusoidal cât și la curent rezidual continuu pulsatoriu), 5-sensibilitatea (30 mA), 6-curent nominal (25 A), 7-tensiune nominală (230 Vca), 8-capacitatea de rupere nominală (1000 A-capacitatea de deconectare reziduală, 63 A- curentul nominal al siguranței fuzibile asociate cu întrerupătorul, 6000 A- curentul de rupere al siguranței), 9-schema de conexiuni, 10-borne de conexiuni, 11-firma producătoare, 12-buton pentru testare, 13-manetă de acționare, 14-număr de identificare. Butonul de testare 12 este utilizat pentru verificarea periodică (1 lună - întrerupătoarele diferențiale, respectiv 1 an – blocurile de protecție diferențială) a bunei funcționări a protecției diferențiale.

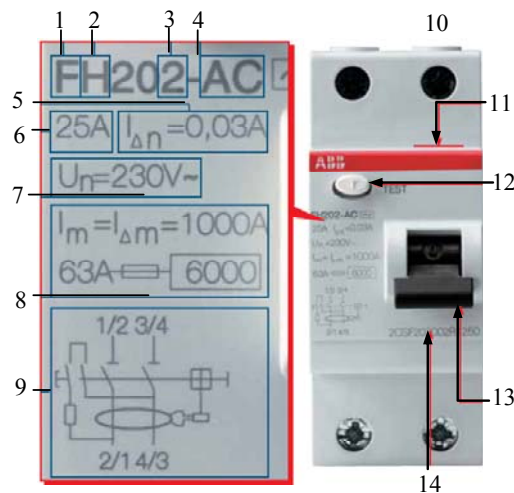


Fig.8.7

Partea frontală a unui întrerupător diferențial

2.3. Accesorii pentru întrerupătoare de tip miniatură

Întrerupătoarelor automate de JT miniatură li se pot asocia o serie de accesorii care permit îmbunătățirea aspectelor legate de protecția circuitelor, respectiv controlul/comanda și semnalizarea funcționării acestora. Cele mai uzuale accesorii întâlnite sunt:

- contacte auxiliare de poziție, sincronizate cu contactele principale ale întrerupătoarelor automate;
- contacte de semnalizare a declanșării prin protecție a întrerupătoarelor automate;
- bobină de declanșare;
- declanșator (bobină) de minimă tensiune;
- declanșator (bobină) la supratensiune.

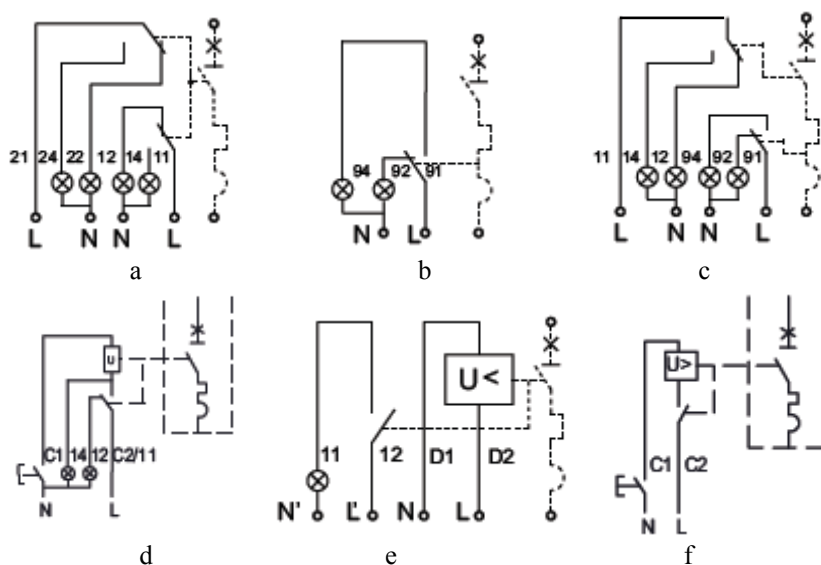


Fig.8.8

Scheme electrice ale accesoriilor întrerupătoarelor miniatură: a-contacte auxiliare de poziție; b-contacte de semnalizare a declanșării prin protecție; c- contacte auxiliare de poziție și de semnalizare a declanșării prin protecție; d-bobină de declanșare; e-bobină de minimă tensiune; f-bobină de declanșare la supratensiune.

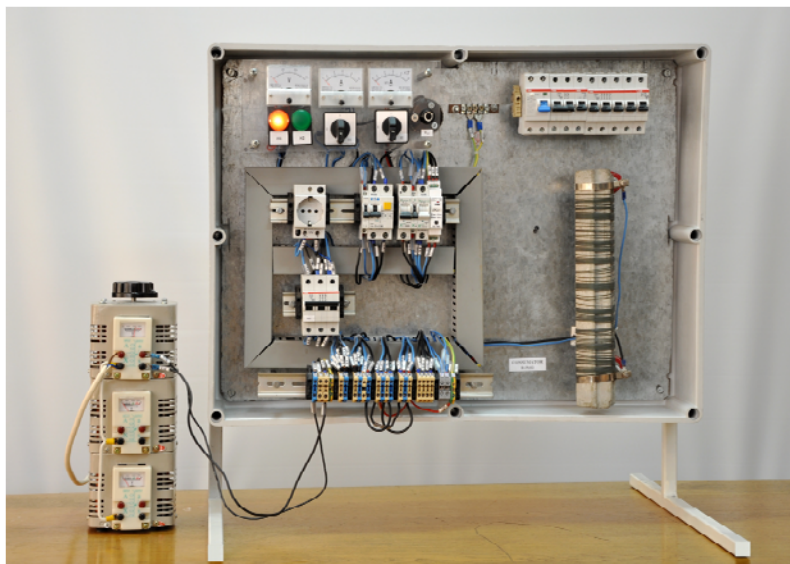
În Fig.8.8 sunt prezentate schemele electrice ale accesoriilor precizate mai sus, [4]. Bobina de declanșare la supratensiune nu este o protecție contra supratensiunilor tranzitorii și nu anulează utilizarea dispozitivelor de protecție la aceste supratensiuni.

3. Programul lucrării

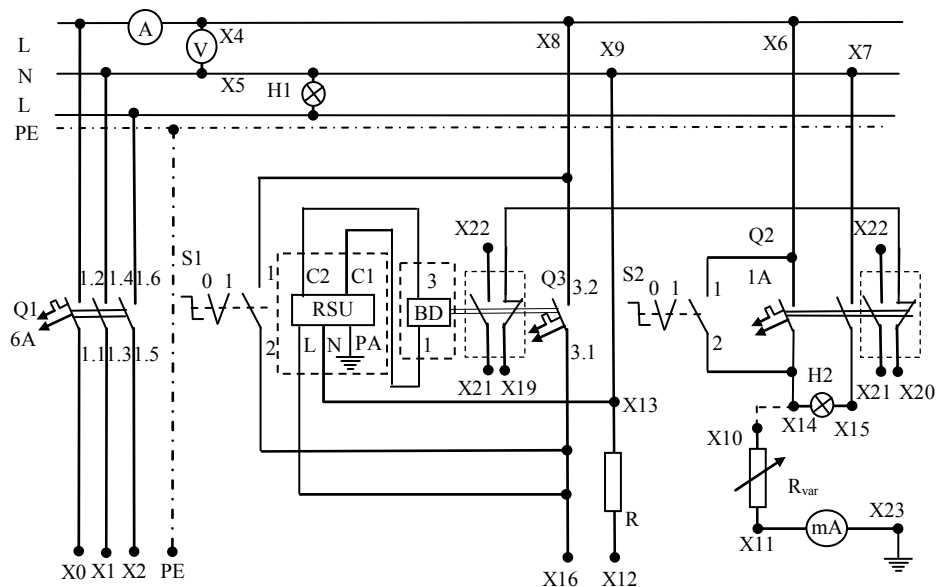
3.1. Standul experimental

Standul experimental pentru verificarea întrerupătoarelor de joasă tensiune miniatură reprezintă un ansamblu de echipamente electrice: întrerupătoare automate miniatură, întrerupător automat cu protecție diferențială contacte auxiliare de poziție, bobine de declanșare, releu de supraveghere a tensiunii, aparate de măsură (miliampermetru, ampermetru și voltmetru), lămpi de semnalizare, cheii de comandă, conectori.

O imagine de ansamblu a standului experimental este prezentată în Fig.8.9, care conține diferite tipuri de echipamente miniatură (fabricație ABB sau Moeller - actuala Eaton) și anume:

**Fig.8.9***Stand experimental*

- întrerupătorul automat SH 203 C10 (Q1) de tip tripolar, tensiunea nominală $U_n = 400$ V, curentul nominal $I_n = 10$ A, capacitatea de rupere nominală $I_{pr} = 6$ kA;
- întrerupătorul automat cu protecție diferențială CKN4-25/1N/C/003 (Q2), de tip bipolar, tensiunea nominală $U_n = 230$ V, curentul nominal $I_n = 25$ A, curentul nominal de scurgere $I_{\Delta n} = 30$ mA, capacitatea de rupere nominală $I_{pr} = 4,5$ kA;
- întrerupătorul automat PLSM C1 (Q3) de tip monopolar, tensiunea nominală $U_n = 230/400$ V, curentul nominal $I_n = 1$ A, capacitatea de rupere nominală $I_{pr} = 10$ kA;
- întrerupătorul automat SH 202 C10, de tip bipolar, tensiunea nominală $U_n = 400$ V, curentul nominal $I_n = 10$ A, capacitatea de rupere nominală $I_{pr} = 6$ kA;
- întrerupătorul automat S 204 M C6 de tip tetrapolar, tensiunea nominală $U_n = 400$ V, curentul nominal $I_n = 6$ A, capacitatea de rupere nominală $I_{pr} = 10$ kA;
- întrerupătorul automat S201 C32 de tip monopolar, tensiunea nominală $U_n = 230/400$ V, curentul nominal $I_n = 32$ A, capacitatea de rupere nominală $I_{pr} = 6$ kA;
- întrerupătorul cu protecție diferențială F202 AC de tip bipolar, tensiunea nominală $U_n = 230$ V, curentul nominal $I_n = 25$ A, curentul nominal de scurgere $I_{\Delta n} = 30$ mA, capacitatea de deconectare reziduală $I_m = 1000$ A.
- bobină de declanșare S2C-A2, tensiunea de alimentare 110...415 Vca, 110...250 Vcc;

**Fig.8.9**

Schema electrică multifilară de forță a standului

În Fig.8.9 este prezentată schema electrică multifilară de forță a standului experimental ce permite verificarea caracteristicii de protecție timp-curent a întrerupătorului automat miniatură Q3, a protecției diferențiale a întrerupătorului automat Q2, respectiv verificarea unui releu de supraveghere a tensiunii (RSU).

Panoul de măsură, comandă și semnalizare al standului are rolul de a controla, comanda și semnaliza funcționalitatea standului, Fig.8.10, fiind compus din chei de comandă cu două poziții cu automenținere S1, S2, lămpile de semnalizare H1, H2, rezistența variabilă R_{var} , voltmetru, ampermetru și miliampermetru.

**Fig.8.10**

Panoul de măsură, comandă și semnalizare

3.2. Studiul construcției întrerupătoarelor automate de joasă tensiune

Se studiază echipamentele electrice miniatură existente la lucrare, identificându-se elementele constructive. Se notează tipul și parametrii nominali ai acestor echipamente, respectiv schemele electrice ale lor.

3.3. Verificarea caracteristicii de protecție timp-curent a unui întrerupător automat miniatură

Se verifică caracteristica de protecție timp-curent a întrerupătorului automat PLSM C1 (Q3). Determinarea caracteristicii de protecție timp-curent presupune parcurgerea următorilor pași:

- se realizează legăturile electrice (cele cu linie întreruptă) urmărindu-se schema electrică din Fig.8.11 (bornele de ieșire ale autotransformatorului ATR-8 se conectează la bornele de racord X0, X1, respectiv X2 ale standului; borna X12, la care este conectată rezistența R-la borna X16; bornele ND ale secundometrului din secțiunea START-la bornele X21 și X22 ale standului; bornele ND, din secțiunea STOP-la bornele X19 și X20 ale standului;

- se închide întrerupătorul automat Q1;

- se determină punctele de pe caracteristica timp-curent, astfel:

- se trece cheia de comandă cu două poziții S1, pe poziția 1;

- se reglează un supracurent, $I_{sc}=2I_n$, cu ajutorul ATR-8 pentru o primă determinare, acesta fiind indicat pe panoul de comandă de către ampermetru;

- se trece cheia de comandă cu două poziții S1, pe poziția 0;

- se resetează secundometrul și se închide întrerupătorul automat Q3;

- secundometrul va indica timpul de declanșare al întrerupătorului Q3;

- se reiau pașii anteriori (cei marcați cu •) pentru fiecare valoare a supracurentului I_{sc} din Tab.8.4;

- după ce procesul de verificare a întrerupătorului automat de joasă tensiune s-a încheiat, se deschide întrerupătorul automat Q1, respectiv se deconectează ATR-8 de la rețea.

Datele măsurate se trec în Tab.8.4 și se trasează caracteristica de protecție timp-curent, $t_a(I_{sc})$, obținută în urma încercărilor experimentale a întrerupătorului automat de tip miniatură și se compară cu cea dată de firma constructoare.

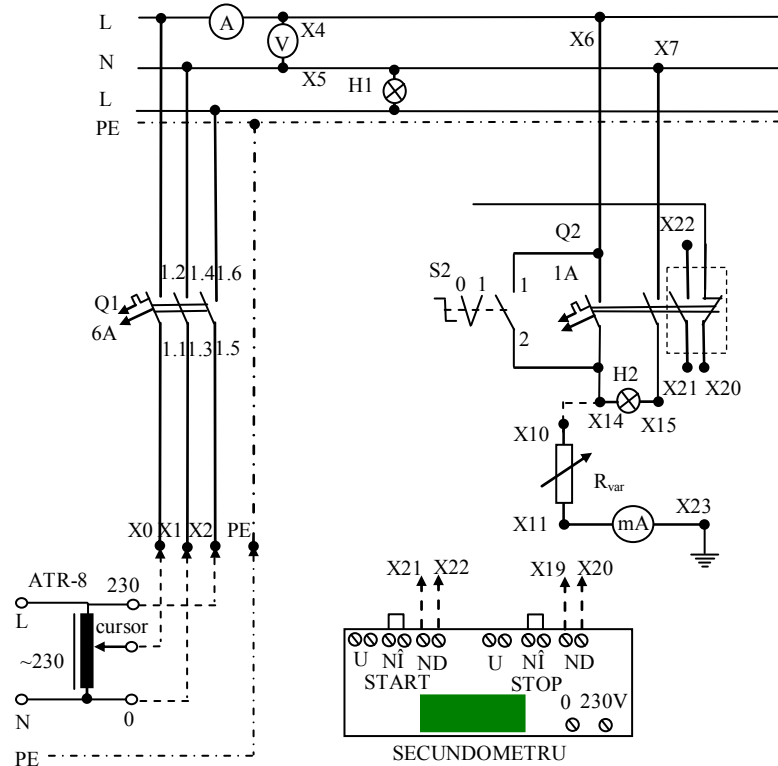


Schema pentru verificarea caracteristicii de protecție timp-curent a întrerupătorului automat miniatură

Tab.8.4[illegible]

3.4. Verificarea protecției diferențiale a unui întrerupător automat de JT miniatură

Configurația schemei de forță pentru verificarea protecției diferențiale a întrerupătorului automat CKN4-25/1N/C/003 (Q2) este prezentată în Fig.8.12.

**Fig.8.12**

Schema pentru verificarea protecției diferențiale

Pentru verificarea protecției diferențiale a întrerupătorului automat se parcurg următoarele etape:

- se realizează legăturile electrice (cele cu linie întreruptă) urmărindu-se schema electrică din Fig.8.12 (bornele de ieșire ale autotransformatorului ATR-8 se conectează la bornele de racord X0, X1, respectiv X2 ale standului; borna X10 la care este conectată rezistența variabilă R_{var} -la borna X14 a standului; bornele ND ale secundometrului din secțiunea START-la bornele X21 și X22 ale standului; bornele ND din secțiunea STOP-la bornele X19 și X20 ale standului;

- se reglează rezistența variabilă la valoarea maximă;

- se închid întrerupătoarele automate Q1 (prezența tensiunii fiind indicată de lampa H1), respectiv Q2 (lampa H2);

- se micșorează rezistența variabilă, de pe panoul de comandă, până când curentul de scurgere la pământ, indicat de miliampermetru, va determina declanșarea întrerupătorului Q2. Se notează valoarea curentului de scurgere minim de declanșare, $I_{\Delta min}$, în Tab.8.5;

- se trece cheia de comandă cu două poziții S2, pe poziția 1;
 - se reglează un curent de scurgere, $I_{\Delta} = 1,5I_{\Delta n}$, cu ajutorul rezistenței variabile, acesta fiind indicat pe panoul de comandă de către miliampermetru;
 - se trece cheia de comandă cu două poziții S2, pe poziția 0;
 - se resetează secundometrul și se închide întrerupătorul automat Q2;
 - secundometrul va indica timpul de declanșare al întrerupătorului Q2;
 - se reiau pașii anteriori (cei marcați cu •) pentru fiecare valoare a curentului de scurgere I_{Δ} din Tab.8.5;
- după ce procesul de verificare a întrerupătorului cu protecție diferențială s-a încheiat, se deschide întrerupătorul automat Q1, respectiv se deconectează ATR-8 de la rețea.

Datele obținute se trec în Tab.8.5. Se trasează caracteristica de protecție timp-curent, $t_a(I_{\Delta})$, obținută în urma încercărilor experimentale a întrerupătorului și se compară cu cea dată de firma constructoare.

Tab.8.5

Întrerupător tip: , $I_n = \dots\dots\dots$ [A], $I_{\Delta n} = \dots\dots\dots$ [mA], $U_n = \dots\dots\dots$ [V], $I_{\Delta min} = \dots\dots\dots$ [mA]						
I_{Δ} [mA]	$1,5I_{\Delta n}$	$2I_{\Delta n}$	$2,5I_{\Delta n}$	$3I_{\Delta n}$	$3,5I_{\Delta n}$	$4I_{\Delta n}$
t_a [ms]						

3.5. Verificarea releului de supraveghere a tensiunii maxime

Standul prezintă și un releu de supraveghere a tensiunii maxime de frecvență industrială, RSU01/A, asociat cu o bobină de declanșare BD și cu întrerupătorul automat Q3, Fig.8.9. Releul este utilizat pentru protecția consumatorilor monofazați împotriva supratensiunilor de frecvență industrială, respectiv întreruperii accidentale a conductorului de nul. Pentru verificarea releului folosim schema din Fig.8.11. Punerea în funcțiune a montajului și verificarea releului de supraveghere a tensiunii maxime se face parcurgând următorii pași:

- se realizează legăturile electrice (cele cu linie întreruptă) de la §3.3;
- pentru verificarea întreruperii accidentale, borna Pa a releului nu se conectează la borna de legare la pământ (borna PE a standului);
- se închid întrerupătoarele automate Q1, respectiv Q3;
- se crește tensiunea cu ajutorul ATR-8, valoarea acesteia fiind indicată pe panoul de comandă de către voltmetru;
- la o anumită valoare a acestei tensiuni, releul RSU01/A comandă bobina de declanșare BD, care va deconecta întrerupătorul Q3;

- se notează această valoare și se compară cu valoarea de catalog (45...55 V);
- pentru verificarea la supratensiuni de frecvență industrială se conectează borna Pa a releului la borna de legare la pământ;
- se închid întrerupătoarele automate Q1, respectiv Q3;
- se crește tensiunea cu ajutorul ATR-8, până la valoarea la care releul comandă bobina de declanșare, care la rândul ei deconectează întrerupătorul Q3;
- se notează această valoare și se compară cu valoarea de catalog (260...280 V);
- după declanșarea întrerupătorului Q3, se resetează releul de tensiune, precum și secundometrul apoi, păstrându-se aceeași supratensiune, se închide întrerupătorul Q3;
- întrerupătorul Q3 va declanșa și secundometrul va indica timpul total de declanșare (releu+întrerupător);
- se notează valoarea timpului de declanșare total și se compară cu valoarea de catalog (sub 200 ms).

4. Conținutul referatului

- ❑ Parametrii și caracteristicile constructive ale întrerupătoarelor automate de joasă tensiune studiate.
- ❑ Schemele electrice ale montajelor utilizate pentru încercări.
- ❑ Tabelele de date completate și graficele caracteristicilor de protecție timp-curent, respectiv timp-curent rezidual.
- ❑ Observații și concluzii.

5. Bibliografie

- [1] Adam M., Baraboi A., *Echipamente electrice (vol.II)*, Editura "Gh. Asachi" Iași, 2002.
- [2] ***, System pro M compact (DIN Rail components for low voltage installation, catalogue), ABB, 2012.
- [3] ***, Residual current devices (Catalogue), Noark, 2011.
- [4] ***, Circuit breakers and isolators (Catalogue), Noark, 2011.

Lucrarea nr. 9

Studiul și verificările întrerupătoarelor cu ulei puțin de medie tensiune

1. Caracteristici constructive și funcționale. Parametri nominali

Întrerupătoarele de medie tensiune sunt echipamente de comutație destinate utilizării în instalații trifazate cu tensiuni nominale cuprinse în domeniul 1...36 kV, capabile să stabilească, să suporte și să întrerupă curenți corespunzători regimurilor atât normale de sarcină cât și de defect (scurtcircuit).

Întrerupătoarele suportă, pe durate nelimitate, curenții având intensitatea cel mult egală cu cea nominală, supracurenții (curenții de suprasarcină și de scurtcircuit) fiind menținuți doar pe durate limitate.

Principalii parametri nominali ai întrerupătoarelor de medie tensiune sunt:

a) *Tensiunea nominală*, [kV]. Reprezintă tensiunea de funcționare în regim nominal a echipamentului și corespunde valorii maxime de serviciu a tensiunii rețelei.

Tensiunea nominală a întrerupătoarelor de medie tensiune are, în mod obișnuit, una din valorile: 7,2-12-24 kV (valoare efectivă, măsurată între faze).

b) *Nivelul de izolație nominal*. Se exprimă prin valorile tensiunilor de ținere la undă normală de impuls de 1,2/50 μ s (vezi Lucrarea nr. 4) și la supratensiuni de frecvență industrială, pe care izolația întrerupătorului trebuie să le suporte fără conturnări și străpungeri. De exemplu, izolația unui întrerupător cu tensiunea nominală de 12 kV trebuie să reziste, în condițiile precizate, la unde normale de impuls de tensiune cu valoarea de vârf de 75 kV și, timp de 1 minut, la tensiunea de frecvență industrială de 35 kV_{ef}.

c) *Curentul nominal în serviciu continuu*. Are valorile limitate de temperaturile admisibile ale căilor de curent, stabilite pentru solicitarea termică de lungă durată. Intensitatea curentului nominal poate lua una din valorile: 400-630-800-1250-1600-2000-2500-3150-4000-5000-6000 A.

Valorile nominale ale tensiunii și curentului sunt date pentru frecvența nominală, care poate fi de 50 Hz sau 60 Hz.

d) *Capacitatea nominală de rupere la scurtcircuit*. Este definită ca valoare maximă a intensității curentului de scurtcircuit pe care întrerupătorul îl poate întrerupe funcționând la tensiunea nominală și în condiții prescrise privind tensiunea tranzitorie de restabilire, [1].

Capacitatea nominală de rupere la scurtcircuit se exprimă prin două valori ale curentului de rupere, măsurate în momentul separării contactelor:

valoarea efectivă a componentei periodice, I_{pr} , respectiv valoarea componentei aperiode, considerată procentual, prin raportare la valoarea de vârf $\sqrt{2} I_{pr}$.

Aprecierea capacității nominale de rupere la scurtcircuit se poate face și în funcție de puterea de rupere, S_{pr} , definită prin relația:

$$S_{pr} = \sqrt{3} U_n I_{pr}, \quad (9.1)$$

unde U_n este tensiunea nominală.

Drept parametri ai unui întrerupător se consideră, de asemenea, capacitățile nominale de rupere privind întreruperea liniilor electrice aeriene și în cablu funcționând la gol, întreruperea în cazul discordanței de fază și întreruperea bateriilor de condensatoare.

e) *Capacitatea nominală de închidere în scurtcircuit*, i_l . Reprezintă valoarea de vârf maximă a curentului de scurtcircuit (curent de șoc) pe care întrerupătorul îl poate stabili fără sudarea contactelor sau fără alte defecte mecanice.

Între capacitățile de închidere, respectiv de rupere la scurtcircuit există relația:

$$i_l = \sqrt{2} k_s I_{pr}, \quad (9.2)$$

unde k_s este factorul de șoc sau de lovitură. Pentru valorile curente $k_s = 1,75 \dots 1,80$, din relația (9.2) rezultă:

$$i_l = 2,5 I_{pr}. \quad (9.3)$$

Verificarea condiției privind capacitatea de închidere nominală la scurtcircuit coincide cu îndeplinirea condițiilor referitoare la stabilitatea electrodinamică a întrerupătorului, [1].

f) *Durata admisibilă nominală de menținere a curentului de scurtcircuit*. Precizează valoarea admisibilă a solicitării termice la scurtcircuit a întrerupătorului și reprezintă intervalul de timp în care căile de curent pot suporta un curent de scurtcircuit având intensitatea I_{pr} . Valorile standardizate ale acestei durate, limitate de momentul atingerii temperaturii admisibile la scurtcircuit, sunt de 0,3 secunde sau 3 secunde.

g) *Secvența nominală de manevre*. Reprezintă posibilitățile admise pentru acționarea întrerupătorului în caz de defect (scurtcircuit). Întrerupătoarele trebuie să execute una din următoarele secvențe nominale:

- D-180s – ID – 180s – ID, pentru întrerupătoarele ce nu funcționează în regim de reanclare automată rapidă (RAR);
- D-0,3s – ID – 180s – ID, pentru întrerupătoarele ce funcționează în regim RAR;

unde D reprezintă operația de deschidere, iar ID – operația de închidere, urmată imediat de deschiderea întrerupătorului.

h) *Durata nominală de închidere*. Este intervalul de timp dintre momentul în care mărimea ce lucrează asupra dispozitivului de acționare a

întrerupătorului atinge valoarea de lucru și momentul în care contactele întrerupătorului se închid, stabilind circuitele pe toți polii.

i) *Durata nominală de deschidere*. Este intervalul de timp dintre momentul în care mărimea ce lucrează asupra dispozitivului de acționare a întrerupătorului atinge valoarea de lucru și momentul în care contactele întrerupătorului se separă, întrerupând circuitele la toți polii.

j) *Durata nominală de întrerupere*. Este intervalul de timp în care mărimea ce lucrează asupra dispozitivului de acționare atinge valoarea de lucru și sfârșitul circulației de curent la toți polii.

Durata nominală de întrerupere reprezintă suma dintre durata nominală de deschidere și durata arderii arcului electric de deconectare.

2. Întreruptoare cu ulei de medie tensiune, de tip IO

Întrerupătoarele ortojectoare cu ulei puțin de medie tensiune sunt construite în variantă tripolară, cei trei poli fiind amplasați pe un șasiu comun, pe care se găsește și mecanismul de acționare.

Fiecare pol este constituit din elementele constructive de bază ale unui întrerupător și anume: calea de curent, camera de stingere, dispozitivele electroizolante, elementele de rezistență mecanică și de transmisie a mișcării la contactul mobil, [2].

2.1. Calea de curent

Componentele unei căi de curent care funcționează în uleiul conținut într-o cuvă cilindrică din steclotextolit rulat, consolidat cu rășini epoxidice, sunt reprezentate în Fig.9.1.

Tija 1 a contactului mobil se realizează din cupru, care se argintează pe suprafața laterală, în zonele de contact. Piesa de contact 2, din aliaj Cu-W rezistent la uzură electrică, are rolul de a prelua extremitatea arcului electric de deconectare. Contactul fix, de obicei de tip tulipă, este compus din degetele 3 de contact, arcurile presoare 4, caseta metalică de protecție 5 și armătura 6, din Cu-W, care preia extremitatea arcului electric.

Calea de curent este întregită prin contactele alunecătoare 7 și bornele de racord 8, ultimele situate în exteriorul cuvei; cu 9 s-a notat camera de stingere.

Construcția detaliată a contactului de tip tulipă este reprezentată în Fig.9.2, unde s-a notat: 1-tijă mobilă de contact, 2-armătură de protecție din Cu-W, 3-punți de contact din cupru argintat, 4-resorturi lamelare, 5-casetă cilindrică din aluminiu, 6-inel de protecție din Cu-W, 7-tija contactului fix.

O construcție particulară a căilor de curent este întâlnită la întrerupătoarele IO-15 kV/2500 A și IO-12 kV/4000 A, care au conectat, în paralel cu polul principal (întrerupător), un pol separator. Cei doi poli, întrerupător și separator, funcționează în cuve cu ulei separate, cu cameră de

stingere fiind prevăzut doar polul întrerupător. Un dispozitiv de echilibrare electromagnetică, cu transformatoare de curent, asigură repartizarea uniformă a curentului pe cele două căi de curent conectate în paralel. Corelarea operațiilor de comutație se face pe cale mecanică, astfel încât polul separator poate fi acționat numai dacă polul întrerupător are contactul închis.

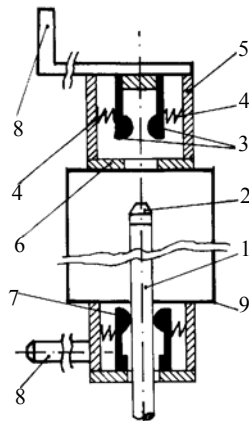


Fig.9.1

Calea de curent a unui întrerupător de medie tensiune de tip IO

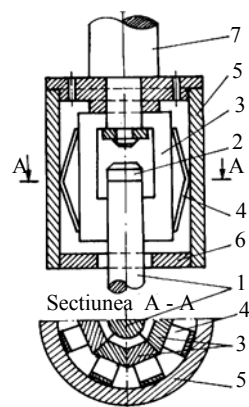


Fig.9.2

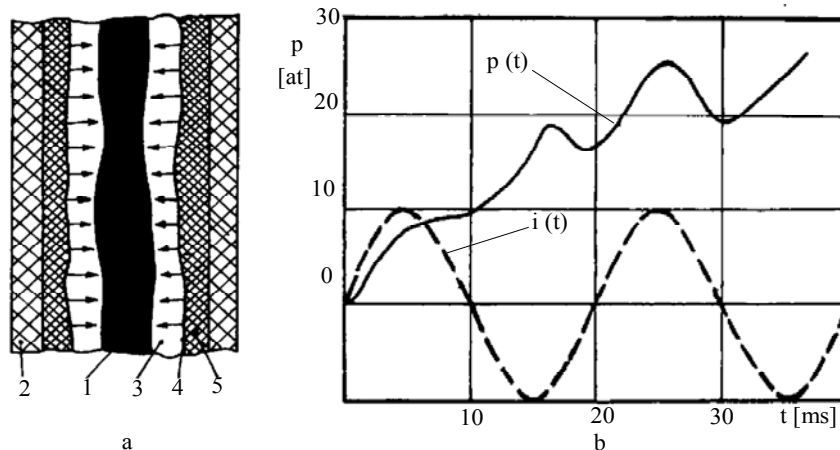
Contact de tip tulipă

În comparație cu alte variante constructive, structura prezentată în Fig.9.1 are avantajele deplasării de sus în jos, la deconectare, a tijei contactului mobil 1, fapt care permite dezvoltarea liberă a arcului electric. Pe această cale este posibilă activarea deionizării coloanei arcului precum și înlocuirea conexiunii flexibile (mai puțin rezistentă la oboseală mecanică) prin contactele alunecătoare 1.

2.2. Dispozitivele de stingere a arcului electric

Stingerea arcului electric de deconectare se obține într-un volum limitat de ulei conținut în camera de stingere, care funcționează pe principiul expandării uleiului, Fig.9.3a.

Sub acțiunea arcului electric 1, care arde în volumul de ulei limitat de pereții 2 ai camerei de stingere, are loc descompunerea și evaporarea uleiului, presiunea $p(t)$ a gazelor 3 din vecinătatea coloanei arcului fiind crescătoare în timp. La trecerea prin valoarea zero a intensității $i(t)$ a curentului care trebuie întrerupt, căldura dezvoltată de arc este nulă și presiunea $p(t)$ scade, Fig.9.3b. În aceste momente are loc expandarea (evaporarea) la suprafața 4, a uleiului supraîncălzit 5. Vaporii antrenează și curenți turbulenți de ulei, care activează deionizarea. Contactul coloanei arcului electric cu mase de ulei proaspăt favorizează deionizarea, fapt pentru care camerele de stingere nu se construiesc cu pereți interiori netezi.

**Fig.9.3***Expandarea uleiului*

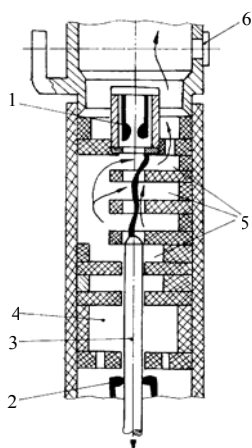
În Fig.9.4 este prezentată structura de principiu a unei camere de stingere care echipează întrerupătoarele tip IO de medie tensiune și în care stingerea arcului electric, bazată pe principiul expandării uleiului, se obține prin autosuflaj combinat (longitudinal și transversal) de gaze și ulei.

Camera de stingere, amplasată între contactele 1-fix și 2-alunecător, este confecționată din plăci electroizolante îmbinate cu buloane, de asemenea electroizolante, astfel încât în interior se obțin nișele circulare 5, având orificiul central străbătut de tija 3 a contactului mobil.

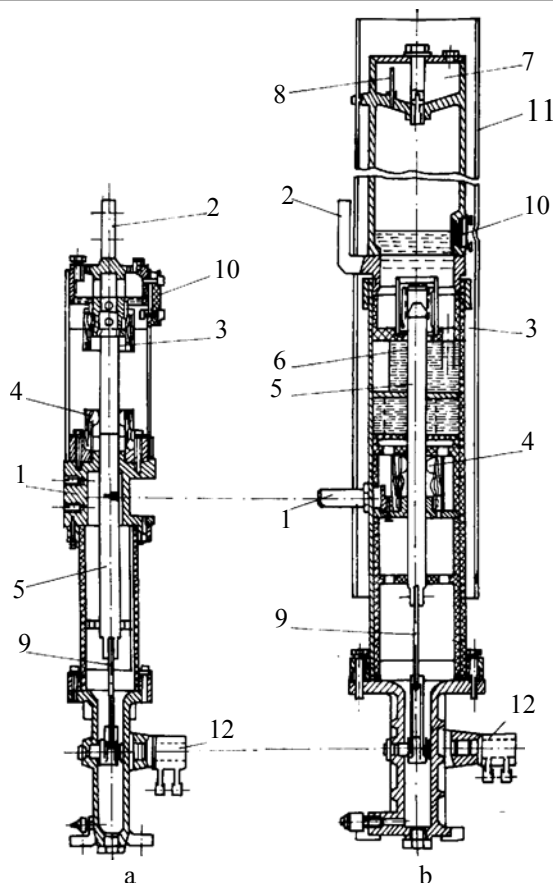
Uleiul 4 umple cavitatea camerei de stingere, nivelul acestuia fiind controlat din exterior prin vizorul 6. În intervalele de timp care conțin momentele anulării intensității curentului prin arc, datorită scăderii presiunii $p(t)$, Fig.9.3b, uleiul reținut în nișele 5 vine sub formă de curenți turbulenți, în contact cu coloana arcului electric, activând deionizarea acesteia. Durata de ardere a arcului electric este de 20...40 ms. Dispunerea nesimetrică a nișelor produce la deconectare un suflaj combinat, longitudinal și transversal, încât vaporii rezultați în urma expandării uleiului și gazele de descompunere se deplasează pe traseele indicate prin săgeți în Fig.9.4.

Vaporii și gazele ionizate părăsesc volumul uleiului și pătrund într-o cameră de detentă unde vaporii condensează, iar uleiul rezultat este trimis în camera de stingere, gazele fiind eșapate.

O secțiune prin partea activă a unui întrerupător de medie tensiune, de tip IO cu pol separator este prezentată în Fig.9.5 unde: 1, 2 sunt borne de conexiuni, 3-contact fix de tip tulipă, 4-contact alunecător, 5-tijă contact mobil, 6-cameră de stingere, 7-cameră de detentă, 8-jiclor de eșapare, 9-tijă electroizolantă, 10-vizor nivel ulei, 11-ecran electroizolant, 12-axul manivelei de transmisie a mișcării.

**Fig.9.4**

Structura de principiu a unei
camere de stingere

**Fig.9.5**

Secțiune prin polul separator (a) și
polul întrerupător (b) ale unui întrerupător IO

În Tab.9.1 sunt prezentați principalii parametri ai întrerupătorului IO de medie tensiune din laborator, [3].

Tab.9.1

Întrerupător IO-20/1250	
Parametrii nominali	Valori nominale
Tensiunea nominală	24 kV
Nivel de izolație 50 Hz - tensiunea nominală de ținere la supratensiuni de frecvență industrială	55 kV
Nivel de izolație 1,2/50 μs - tensiunea nominală de ținere la unde normale de impuls de tensiune	125 kV _{max}
Curent nominal	1250 A
Capacitatea nominală de rupere la scurtcircuit	14,5 kA
Capacitatea nominală de rupere a curenților bateriilor de condensatoare	175 A

Capacitatea nominală de conectare de scurtcircuit	26 kA _{max}
Durata admisibilă de menținere a curentului de scurtcircuit	3 s
Timpul de închidere/deschidere	108/57 ms
Timpul de întrerupere	70 ms

2.3. Mecanismul de acționare al întrerupătorului IO de medie tensiune

Mecanismul de acționare care echipează întrerupătoarele de medie tensiune cu ulei puțin de tip IO este cu acumulare de energie în resorturi, de tip MRI. Întrerupătoarele cu ulei puțin, varianta IO-AP, sunt acționate pneumatic.

Principiul de funcționare al mecanismului cu acumulare de energie în resorturi este prezentat în Fig.9.6. Axul principal are două părți distincte: axul de armare 6, solidar permanent cu resortul de închidere 5 și axul întrerupătorului 8, solidar permanent cu resortul de deschidere 2. Aceste două axe se pot roti independent pe durata armării resortului de închidere 5 și respectiv a deschiderii întrerupătorului, fiind solidare între ele, prin intermediul cuplei 7, pe durata închiderii acestuia.

Armarea resortului de închidere 5 se face prin rotirea axului 6 cu ajutorul manivelei 4 sau cu un electromotor (nefigurat), la finalul armării sistemul fiind blocat prin intermediul clichetului 3. Pentru închiderea întrerupătorului se comandă clichetul 3 care permite eliberarea energiei acumulate în resortul 5, energie utilizată pentru închiderea contactelor întrerupătorului (contacte conectate la axul 8 prin intermediul unui lanț cinematic) și tensionarea resortului de deschidere 2. Pentru deschiderea întrerupătorului se comandă clichetul 1, cupla 7 eliberează axele 6 și 8, iar resortul 2 va deschide contactele acestuia. Aceste mecanisme sunt cu liberă deschidere, deoarece comanda de deschidere este prioritară față de cea de închidere.

Pentru a evidenția ansamblul componentelor menționate, în Fig.9.7 este reprezentată schema cinematică a mecanismului cu acumulare de energie în resorturi, de tip MRI-3.

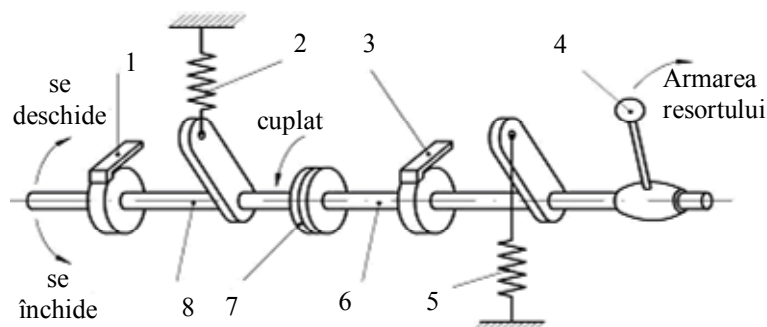
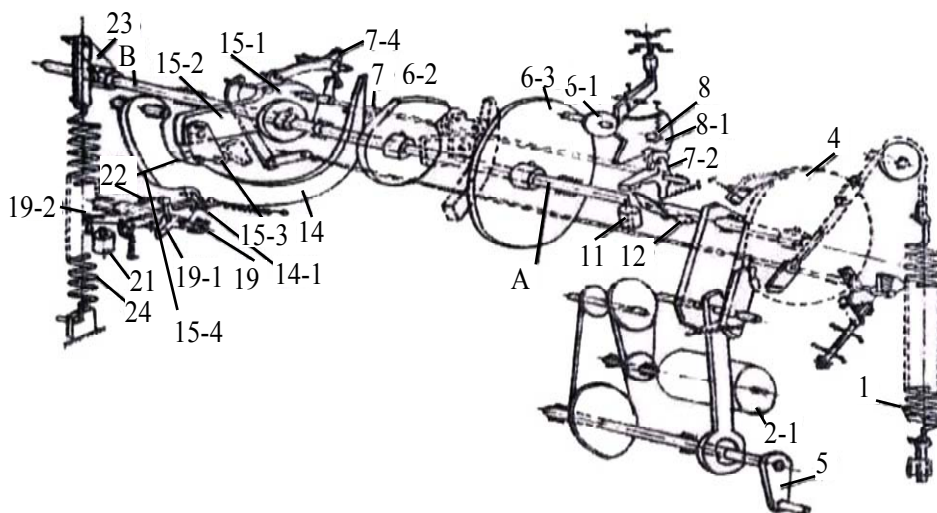


Fig.9.6

Schema cinematică a mecanismului de acumulare a energiei în resoarte

**Fig.9.7**

Mecanism de acumulare a energiei în resoarte tip MRI

Închiderea întrerupătorului și tensionarea resortului de deschidere 24 se obține pe seama energiei acumulate în resortul de tracțiune 1. Tensionarea resortului acumulator 1 se poate face manual, prin rotirea manivelei 5 sau cu ajutorul electromotorului 2-1; în Fig.9.7, resortul 1 este reprezentat în stare tensionată.

Comanda de închidere a întrerupătorului se poate da de la distanță, prin alimentarea bobinei electromagnetului de închidere 11 sau de pe aparat, prin acționarea butonului 12. La una din aceste comenzi, clichetul 7-2 se rotește în jurul axului 7 și eliberează clichetul 8-1 care, rotindu-se în jurul axului 8, eliberează rola 6-1, permițând volantului 6-3 și roții 4 să se rotească în sens invers trigonometric sub acțiunea resortului 1, care se deschide.

Fixat pe volant se află pintenul 6-2 care antrenează, prin rola 15-3, levierul de antrenare, pe care se află rola de zăvorâre 15-4. Levierul de antrenare este articulat pe manivela 15-2, la rândul ei fixată rigid pe axul condus B. În această cursă, rola 15-4 se deplasează pe profilul circular al camei 14, din poziția figurată cu linie întreruptă, până când pătrunde în golul acestei came, unde rămâne blocată (poziția reprezentată cu linie continuă); mișcarea de rotație a axului condus B se transmite la contactele mobile, realizându-se astfel închiderea și blocarea în poziția închis a întrerupătorului. Simultan se obține și tensionarea resortului de deschidere 24.

Prin pătrunderea rolei 15-4 în golul camei 14, rola 15-3 eliberează pintenul 6-2, care ajunge astfel în poziția figurată cu linie întreruptă; prin rearmarea resortului 1, axul conducător A se rotește în sens invers trigonometric, până când pintenul 6-2 ajunge în poziția reprezentată cu linie continuă.

Comanda de deschidere a întrerupătorului se poate da, de asemenea, de la distanță, cu ajutorul electromagnetului de deschidere 21 sau de pe aparat, prin acționarea butonului 22. La una din aceste comenzi, clichetul 19-2 se rotește în jurul axului 19 și antrenează clichetul 19-1, în acest fel eliberându-se rola 14-1 de pe cama 14; sub acțiunea resortului tensionat 24, prin manivela 23, axul condus B este rotit în sens trigonometric trecând în poziția deschis.

Pentru a împiedica eliberarea resortului 1 când întrerupătorul este deja închis, este folosit levierul 7-4 care, prin cama 15-1 a manivelei 15-2, împiedică rotirea clichetului 7-2 prin care se comandă destinderea resortului 1.

Sistemul de blocare în poziția închis, format din rola 15-4 și cama 14, îndeplinește și funcția de dispozitiv de liberă deschidere, anulând, în prezența unei comenzi de deschidere, posibilitatea de blocare în poziția închis a întrerupătorului.

Caracteristicile tehnice ale mecanismului de acționare MRI-3 sunt date în Tab.9.2, [3].

Tab.9.2

Tipul întrerupătorului acționat IO-20 kV / 1250 A	
Parametrii nominali	Valori nominale
Lucrul mecanic dezvoltat de resorturi	705,3 J
Unghiul de rotație a axului principal	155°
Timpul de armare al resorturilor	7...10 s
Tensiunea de alimentare a electromotorului de armare a resorturilor	48 – 110 -220 V c.a. sau c.c
Intensitatea maximă a curentului absorbit de electromotorul de armare a resorturilor	27 – 13 – 6,5 A
Tensiunea de alimentare a electromagneților de comandă	24 – 48 – 110 – 220 V c.c., 110 – 220 V c.a.
Puterea absorbită de electromagneții de comandă	150 W (c.c.), 300 VA (c.a)
Masa mecanismului	80 kg
Tipul întrerupătorului acționat	IO 10-15-20 kV/1250-2500 A

3. Programul lucrării

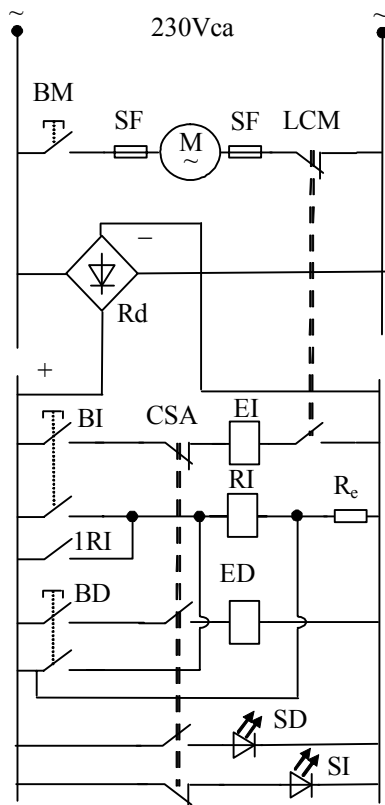
3.1. Studiul construcției întrerupătoarelor de MT cu ulei puțin

Se studiază construcția întrerupătoarelor existente la lucrare, identificându-se elementele componente ale căilor de curent, dispozitivelor de stingere a arcului electric și ale mecanismului de acționare. Se notează tipul și parametrii nominali ale întrerupătoarelor studiate.

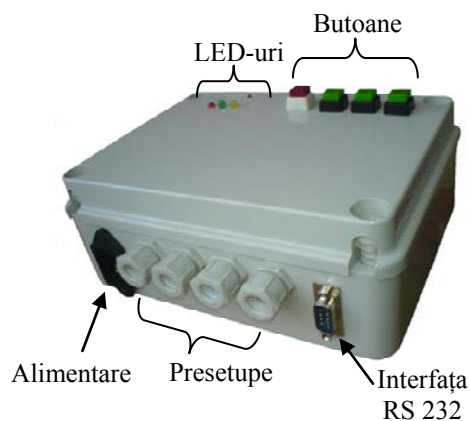
Se identifică tipul mecanismului de acționare. Se studiază construcția acestuia și a lanțului cinematic de transmisie a mișcării de la axul de ieșire al mecanismului de acționare la contactele mobile ale întrerupătorului. După o armare manuală a resortului principal, se urmărește funcționarea întrerupătorului la comenzile de deschidere – închidere date de pe aparat.

Se studiază schema electrică a mecanismului de acționare, reprezentată în Fig.9.8; după o armare cu electromotorul a resortului principal, se urmărește funcționarea întrerupătorului la comenzi date pe cale electrică, prin intermediul unui dispozitiv integrat pentru comandă, realizat cu ajutorul unui microcontroler de tipul Atmel ATmega8 AVR, a cărei imagine este prezentată în Fig.9.9.

Pe panoul frontal al dispozitivului se găsesc: butoanele pentru armarea resortului principal, închiderea și deschiderea întrerupătorului, LED-urile care indică starea mecanismului de acționare, respectiv poziția închis sau deschis a întrerupătorului. Dispozitivul mai este prevăzut cu o interfață RS232, pentru conectare la un calculator, un bloc de alimentare, respectiv presetupele pentru cablurile de conectare la echipamentul electric.

**Fig.9.8**

*Schema electrică a
mecanismului de acționare*

**Fig.9.9**

*Dispozitiv de comandă și
semnalizare*

Pentru a realiza comanda de la distanță a echipamentului, s-a realizat un instrument virtual în mediul de programare LabVIEW, Fig.9.10. Prin intermediul butoanelor acestuia se poate comanda armarea mecanismului, precum și închiderea, respectiv deschiderea întrerupătorului. Prin intermediul indicatoarelor este precizată starea prezentă a întrerupătorului.

Comenzile pe care utilizatorul le poate da echipamentului prin intermediul interfeței realizate în LabVIEW sunt următoarele:

- să armeze mecanismul de acționare al întrerupătorului, prin apăsarea butonului “ARMARE MECANISM”. Gradul de armare este urmărit prin intermediul indicatorului de sub buton;
- să închidă întrerupătorul, prin apăsarea butonului “ÎNCHIDERE”;
- să deschidă întrerupătorul, prin apăsarea butonului “DESCHIDERE”;
- în cazul în care utilizatorul dorește să comande local mecanismul de acționare, va folosi butonul “ACTIVARE COMANDĂ LOCALĂ”. După activarea acestui buton nu se mai pot da comenzi de la calculator.
- dacă utilizatorul nu mai dorește efectuarea unor manevre asupra întrerupătorului, prin simpla apăsare a butonului “STOP”, aplicația se închide.

Observație importantă: Este strict interzisă atingerea părților mecanismului și ale întrerupătorului, atunci când resorturile de închidere-deschidere sunt armate și/sau când schema electrică de comandă se găsește sub tensiune.



Fig.9.10

Panoul frontal al instrumentului virtual pentru comanda întrerupătorului

3.2. Măsurarea rezistenței de izolație a circuitului de medie tensiune

Proba se execută cu ajutorul unui megohmmetru de 2,5 kV sau 5 kV, care are limita maximă a scalei mai mare de $10^4 \text{ M}\Omega$. Rezistența de izolație a cordoanelor trebuie să depășească domeniul maxim de măsurare al megohmmetrului. Măsurarea rezistenței de izolație se efectuează între contactele deschise ale aceluiași pol, între poli, respectiv între poli și părțile care se conectează la pământ, Fig.9.11, Fig.9.12.

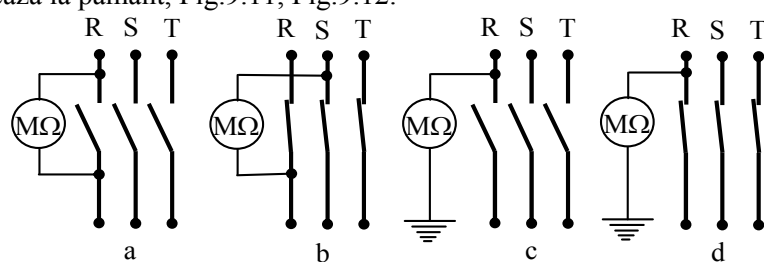


Fig.9.11

Scheme electrice pentru măsurarea rezistenței de izolație

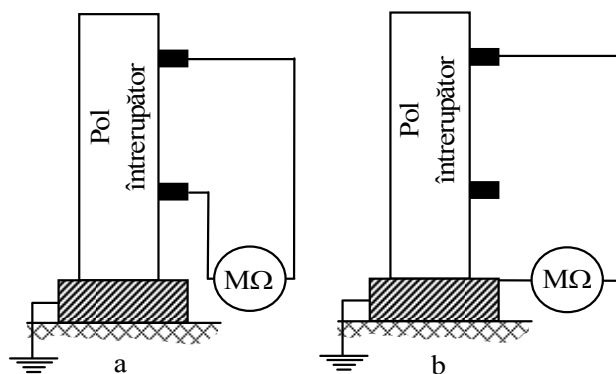


Fig.9.12

Măsurarea rezistenței de izolație pe pol

Valorile minime ale rezistenței de izolație, citite la un minut de la aplicarea tensiunii, trecute în Tab.9.3, trebuie să fie mai mari decât valorile minime admisibile de 3000 $\text{M}\Omega$ (echipament nou), respectiv 1000 $\text{M}\Omega$ (echipament din exploatare), [3].

Tab.9.3

Înterupător tip:		$U_n = \dots\dots\dots$ [kV]		$t = 60$ [s]	
		Rezistența de izolație, [MΩ]			
		Pol R		Pol S	
Între poli		R-S		S-T	
Între contacte					
Față de pământ	înterupător deschis				
	înterupător închis				

3.3. Măsurarea rezistenței pe pol

Rezistența pe pol se determină prin metoda voltmetrului și a ampermetrului, măsurând căderile de tensiune pe fiecare pol (Fig.9.13), cu întrerupătorul închis și parcurs de un curent continuu de intensitate $100 \text{ A} \leq I_c \leq I_n$, I_n fiind intensitatea curentului nominal al întrerupătorului.

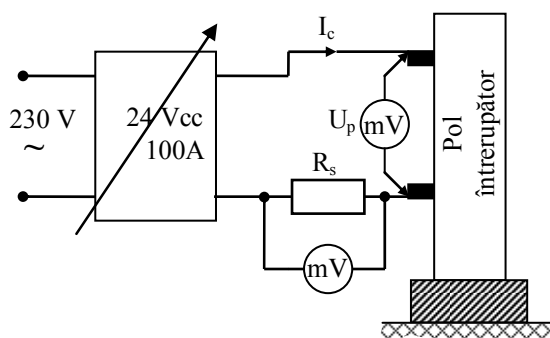


Fig.9.13

Măsurarea căderilor de tensiune pe fiecare pol

Rezistența pe pol se calculează cu relația:

$$R_p[\Omega] = \frac{U_p[V]}{I_c[A]}. \quad (9.4)$$

Se vor efectua trei determinări, la valori diferite ale curentului I_c , pentru fiecare pol în parte, iar datele obținute se vor trece în Tab.9.4.

Tab.9.4

Întrerupător tip:				
Pol	U_{p_2} [mV]	I_{c_2} [A]	R_{p_2} [mΩ]	$R_{p \text{ med.}}$ [mΩ]
R				
S				
T				

Valorile măsurate nu trebuie să depășească cu mai mult de 50%, pe cele de referință ($45 \pm 5 \mu\Omega$), [3].

3.4. Măsurarea duratelor de acționare și a nesimultaneității atingerii și separării contactelor întrerupătorului

Durata de închidere, t_i , a întrerupătorului de tip IO se măsoară cu ajutorul secundometrului (SEC), conectat conform schemei electrice reprezentate în Fig.9.14a. După închiderea întrerupătorului și măsurarea duratei t_i , montajul se refăce conform celui din Fig.9.14b și se măsoară durata de deschidere, t_d .

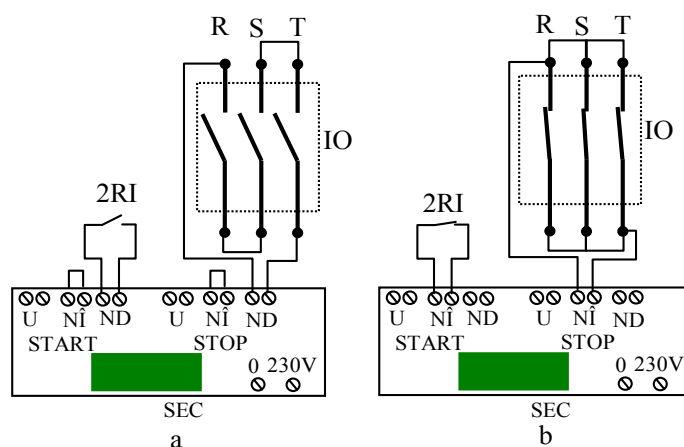


Fig.9.14

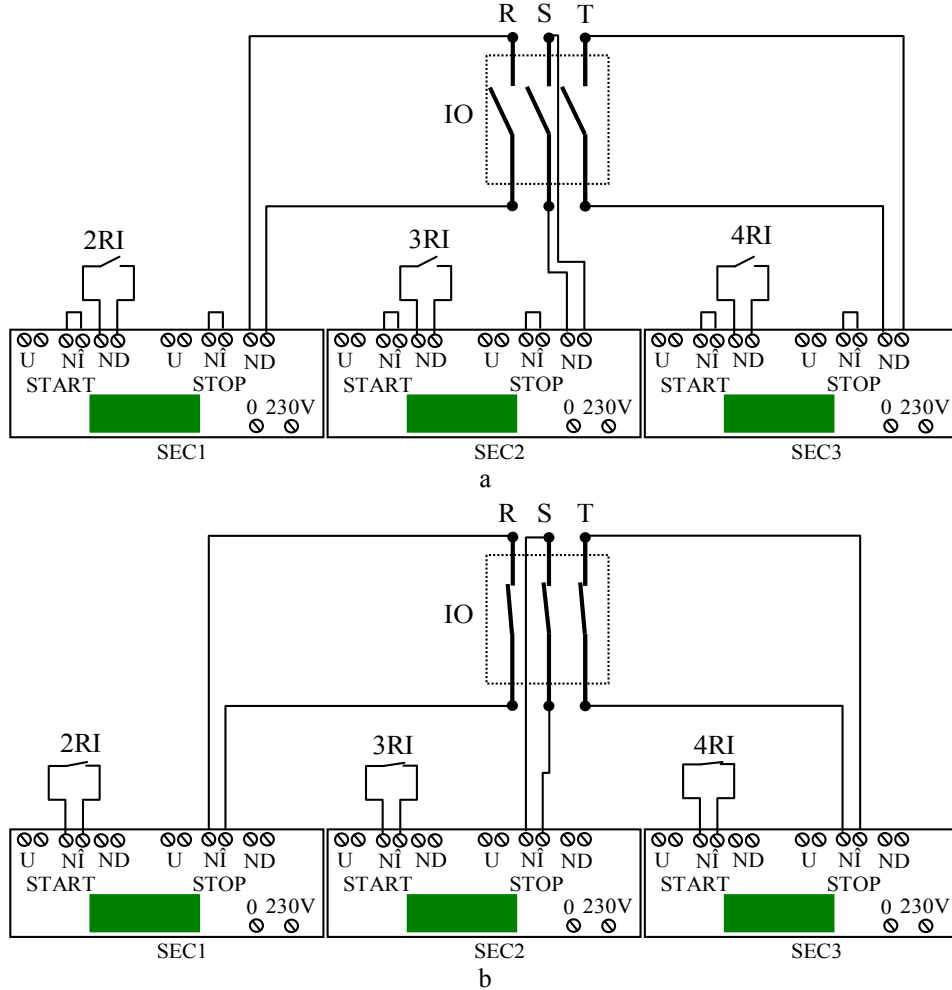
Scheme electrice pentru determinarea duratelor de acționare

Durata de acționare t_i , t_d se consideră ca medie a valorilor măsurate în trei cicluri succesive. Datele obținute se trec în Tab.9.5 și se compară cu cele nominale, pe care nu trebuie să le depășească cu mai mult de 10%, [3].

Tab.9.5

Întrerupător tip, $U_n = \dots$ [kV], $I_n = \dots$ [A]									
Durata de acționare, [ms]									
Închidere					Deschidere				
Valori măsurate				Durata nominală	Valori măsurate				Durata nominală
t_{i1}	t_{i2}	t_{i3}	t_i		t_{d1}	t_{d2}	t_{d3}	t_d	
				108±15					57±13

Cu ajutorul schemelor din Fig.9.15 se determină nesimultaneitatea închiderii (Fig.9.15a), respectiv a deschiderii (Fig.9.15b) contactelor întrerupătorului IO. Secundometrele SEC1, SEC2 și SEC3 măsoară timpii de închidere, respectiv deschidere ale contactelor de pe fiecare pol al întrerupătorului. Duratale nesimultaneității la închidere între polii R-S și R-T,

**Fig.9.15**

Scheme electrice pentru determinarea nesimultaneității

Δt_{iRS} , Δt_{iRT} , respectiv la deschidere între aceeași poli, Δt_{dRS} , Δt_{dRT} , se calculează cu relațiile:

$$\Delta t_{iRS} = |t_{iR} - t_{iS}|; \Delta t_{iRT} = |t_{iR} - t_{iT}|; \Delta t_{dRS} = |t_{dR} - t_{dS}|; \Delta t_{dRT} = |t_{dR} - t_{dT}|. \quad (9.5).$$

Valorile măsurate pentru duratele nesimultaneităților, în trei cicluri de acționare a întrerupătorului, precum și succesiunea la închidere-deschidere a contactelor de pe cei trei poli se trec în Tab.9.6.

Tab.9.6

Înterupător tip,												
Nr. crt.	Nesimultaneitatea închiderii-deschiderii contactelor, [ms]											
	Închidere					Valoarea maximă Δt_i	Deschidere					Valoarea maximă Δt_d
	Valori măsurate						Valori măsurate					
	t_{iR}	t_{iS}	t_{iT}	Δt_{iRS}	Δt_{iRT}		t_{dR}	t_{dS}	t_{dT}	Δt_{dRS}	Δt_{dRT}	
1												
2												
3												
Succesiunea polilor:												

Valorile maxime ale nesimultaneităților (Δt_i , Δt_d) între poli se compară cu valorile admisibile (5 ms, atât la închidere cât și la deschidere) pe care nu trebuie să le depășească, [3].

4. Conținutul referatului

- ❑ Schemele electrice ale montajelor utilizate pentru încercări;
- ❑ Tabelele de date completate;
- ❑ Rezultatele măsurării rezistenței pe pol, a timpilor de închidere/deschidere, respectiv a nesimultaneităților;
- ❑ Observații și concluzii privind construcția și funcționarea întrerupătorului cu ulei puțin de medie tensiune studiat.

5. Bibliografie

- [1] Baraboi A., Adam M., *Echipamente electrice (vol. I)*. Editura “Gh. Asachi” Iași, 2002.
- [2] Adam M., Baraboi A., *Echipamente electrice (vol. II)*, Editura “Gh. Asachi” Iași, 2002.
- [3] * * *, *Revizia întrerupătoarelor IO și IUP de medie tensiune și a dispozitivelor de acționare aferente* (fișă tehnologică). ICEMENERG, București, 1995.

Lucrarea nr. 10

Studiul și verificarea întrerupătoarelor de medie tensiune cu hexafluorură de sulf

1. Hexafluorura de sulf

Hexafluorura de sulf (SF_6) a fost sintetizată pentru prima dată de francezii H. Moissan și P. Lebeau care, în 1906, au primit Premiul Nobel pentru chimie. În anul 1937, Charlton și Cooper propun utilizarea acestui gaz în construcția echipamentelor electrice.

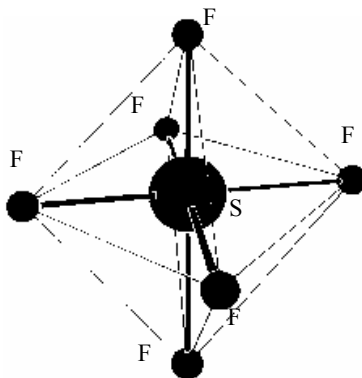


Fig.10.1

Structura moleculei SF_6

Hexafluorura de sulf este unul din cele mai grele gaze, datorită masei sale moleculare mari (146 față de 28 și 32 pentru azot, respectiv oxigen, [1]) densitatea sa, în condiții normale de presiune și temperatură este de 6,319 kg/m^3 , de aproape cinci ori mai mare decât cea corespunzătoare aerului. Este incolor, inodor și, până la o anumită concentrație în aer, netoxic. Raportate la valorile pentru aer, căldura specifică volumică este de 3,7 ori mai mare, iar conductivitatea sonică de circa trei ori mai mică.

Structura moleculei SF_6 este octaedrică, Fig.10.1, având în centru un atom de sulf S, cele șase vârfuri fiind ocupate fiecare de câte un atom de fluor, F. Legăturile S-F sunt covalente, fapt ce conferă moleculei acestui gaz un înalt grad de stabilitate. Descompunerea gazului se produce la temperatura de 500 $^{\circ}\text{C}$, fiind necesară alegerea judicioasă a materialelor cu care acesta vine în contact; gazul SF_6 se comportă bine în prezența unor metale și aliaje ca Al, Mg, Ag, Ni, Cu, Pb, bronz fosforos, fiind interzis însă contactul cu compuși care conțin siliciu.

Eletronegativitatea unui gaz se definește ca diferență a energiilor unei molecule neutre și a unui ion negativ. Hexafluorura de sulf are proprietăți electronegative foarte pronunțate (3,36 eV, față de numai 0,44 eV la oxigen, de exemplu) și, ca urmare, moleculele neutre fixează cu ușurință electronii liberi, formând ioni negativi foarte stabili. În aceste condiții, densitatea electronilor liberi este mult mai mică decât în alte gaze, fapt ce explică proprietățile electroizolante excepționale ale hexafluorurii de sulf.

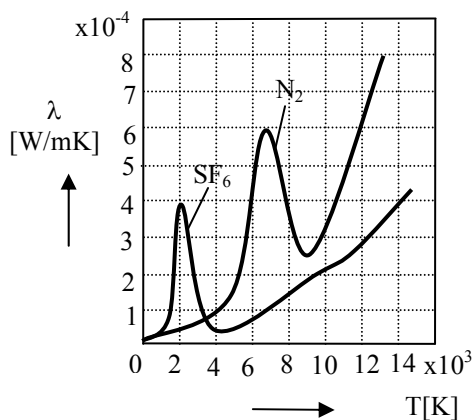
Caracterul electronegativ al gazului se manifestă până la temperaturi înalte. Astfel, sub 2100 K conductivitatea electrică a hexafluorurii de sulf este practic nulă. Peste această temperatură moleculele disociază în atomii componenți și, pe măsura creșterii temperaturii, atomii de sulf pierd electroni, formând ioni pozitivi. Electronii eliberați sunt însă captați de atomii de fluor, cu care formează ioni negativi. Contribuția ionilor negativi de fluor la conductanța electrică a plasmii este nesemnificativă, deoarece la temperaturi ridicate caracterul electronegativ scade în intensitate și densitatea electronilor crește, mărirind conductanța gazului.

La scăderea temperaturii, regenerarea hexafluorurii de sulf începe de la valoarea de 6000 K, sub care atomii de fluor captează electronii liberi, formând ioni negativi care sunt de 185 de ori mai lenti; cu fiecare electron astfel captat, conductanța plasmii scade practic de 185 ori. Între 6000....3000 K toți electronii liberi sunt captați, rămânând ca purtători de sarcină doar ionii (S^+), (F^-), grei și cu mobilitate foarte redusă; ca urmare, conductanța coloanei arcului electric scade brusc.

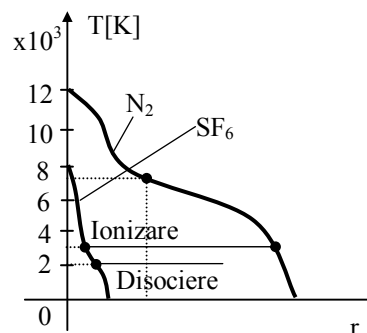
În Fig.10.2 se reprezintă dependența în raport cu temperatura a conductivității termice în hexafluorură de sulf, respectiv în azot, element preponderent al aerului. Căldura degajată în nucleul coloanei arcului se transmite prin conducție pe direcție radială, spre exterior. Căderea de temperatură pe direcția de transmisie a căldurii este cu atât mai mare cu cât conductivitatea termică are valori mai mici. Așa se face că în hexafluorura de sulf temperatura scade rapid după direcția r a razei coloanei arcului, pe când în aer această scădere este lentă, cum se arată în Fig.10.3.

Valorile de maximum ale curbelor $\lambda(T)$ corespund unor fenomene de disociere în atomi a moleculelor de gaz; temperatura de disociere are valorile de 2100 K în hexafluorura de sulf și circa 7000 K în aer. Atomii rezultați în urma disocierii produse în zona axială a nucleului, difuzează către periferia acestuia unde, la temperaturi mai mici, se recombina formând molecule.

În aer, Fig.10.3, temperatura de disociere este mai mare decât cea de ionizare, astfel încât particulele neutre care ajung în stratul superficial sunt supuse fenomenului de ionizare termică și prin șoc. În prezența purtătorilor de sarcină astfel rezultați, coloana arcului electric are o bună conductivitate chiar la distanțe mari de axă, în stratul superficial. În SF_6 conducția electrică încetează practic la temperaturi sub 2100 K, deci la distanțe mici de axa coloanei arcului, iar stratul superficial este electroizolant.

**Fig.10.2**

Dependenta conductivității termice, în SF_6 , în raport cu temperatura

**Fig.10.3**

Evoluția temperaturii în raport cu raza coloanei arcului electric

Capacitatea de întrerupere a unui mediu de stingere este dată de evoluția conductanței arcului electric în vecinătatea momentelor anulării intensității curentului; mediului ideal îi corespunde o trecere bruscă a conductanței de la valori ridicate (mediu conductor, plasmă), la valoarea zero (mediu electroizolant).

La scăderea intensității curentului, temperatura nucleului scade și, în SF_6 , electronii sunt captați datorită caracterului electronegativ al gazului. În momentul anulării intensității curentului, nucleul practic dispare și gazul devine electroizolant.

În cazul arcului electric amorsat în aer, chiar dacă nucleul dispare la trecerea prin zero a intensității curentului, stratul superficial rămâne în continuare ionizat; deoarece răcirea volumului mare de gaz cu temperatură ridicată se face lent, viteza de refacere a rigidității dielectrice este relativ mică, stingerea definitivă a arcului electric obținându-se astfel mai greu.

În aceste condiții, la valori momentane mici ale intensității curentului, valorile măsurate ale constantei de timp a arcului electric sunt de circa 100 μs în aer și numai de 0,25 μs în hexafluorură de sulf, fapt ce-i conferă acestui gaz o capacitate de stingere mare.

2. Caracteristici constructive și funcționale

Întrerupătoarele de medie tensiune care utilizează hexafluorura de sulf ca mediu izolant, respectiv de stingere a arcului electric, sunt realizate în tehnica autopneumatică, suflaj magnetic, autoexpansiune sau tehnici combinate. Din totalul întrerupătoarelor de medie tensiune, o mare parte o reprezintă cele autopneumatice. Întrerupătoarele de putere realizate în tehnică autopneumatică

funcționează cu hexafluorură de sulf la o singură presiune, având valori de 0,275...0,7 MPa.

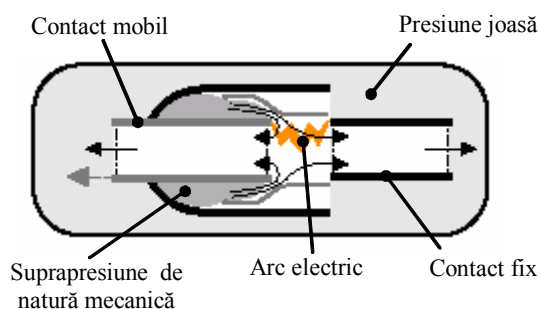


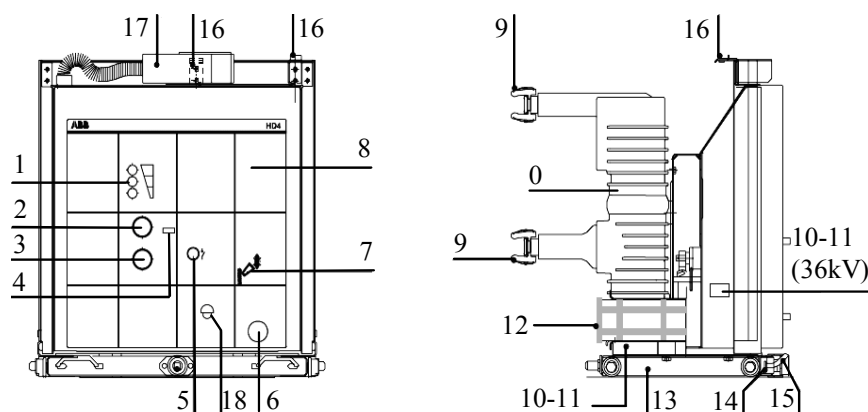
Fig.10.4

Principiul comutației autopneumatice (autocompresie)

Suflajul necesar activării stingerii arcului electric se obține, la deconectare, pe durata deplasării echipajului mobil, prin autocompresie, Fig.10.4, [2]. Aceste întrerupătoare se mai numesc cu autocompresie sau cu o singură presiune (monopresiune).

Firma ABB a dezvoltat o gamă largă de echipamente de medie tensiune cu comutație în hexafluorură de sulf. Dintre acestea fac parte și întrerupătoarele tripolare de interior tip HD4, utilizate în principal pentru manevre și protecție în rețele de distribuție publice și industriale cu tensiuni nominale de la 12 la 40,5 kV; aparatele se construiesc în variantă fixă și debroșabilă, cu intensitatea curentului nominal în gama 630...3600 A și capacitatea nominală de deconectare la scurtcircuit de 16...50 kA, [3], [5]. Pentru acționare, întrerupătoarelor le sunt asociate dispozitive cu acumulare de energie în resorturi.

În Fig.10.5 este dată schița unui întrerupător tip HD4 debroșabil, unde s-a notat: 0-anvelopa electroizolantă a camerei de stingere; 1-dispozitiv de semnalizare a presiunii SF₆; 2-buton de deschidere; 3-buton de închidere; 4-contor al numărului de acționări; 5-dispozitiv de semnalizare a poziției deschis/închis a întrerupătorului; 6-orificiu pentru armare manuală a resortului mecanismului de acționare; 7-dispozitiv de semnalizare a stării armat/nearmat a resortului de închidere; 8-plăcuța cu parametrii tehnici ai întrerupătorului; 9-contacte debroșabile; 10-presostat; 11-valva pentru verificarea presiunii SF₆; 12-dispozitiv de acționare a obloanelor celulei; 13-cărucior; 14-blocaje pentru fixare în poziție broșat; 15-manetă pentru activare blocaj; 16-bolțuri pentru activarea contactelor localizate în celulă; 17-conector cu pini; 18-buton de anulare a protecției motorului de armare.

**Fig.10.5**

Elementele componente ale unui întrerupător de medie tensiune cu SF₆

În Tab.10.1 sunt prezentați principalii parametri ai întrerupătorului HD4 din laborator, [3].

Tab.10.1

Întrerupător: HD4/C-24-25-25, IEC 56, CEI 17-1 Nr. AB 0000 2764		Mecanismul de acționare ESH9	
Parametrii nominali	Valori nominale	MC	110 V -
Tensiunea nominală	24 kV	MU	110 V -
Tensiunea de ținere la impuls	125 kV	MO1	110 V -
Frecvența nominală	50/60 Hz	MO2	110 V -
Curentul nominal	2500 A	ML1	110 V -
Curentul de scurtcircuit	25 kA	H	110 V -
Timpul de închidere/deschidere	80/45 ms	M	110 V -
Presiunea absolută SF ₆ la 20 °C	380 kPa		
Capacitatea de rupere	25 kA		
Capacitatea de închidere la tensiunea nominală	63 kA		
Secvența de operare	D-0,3 s-ID-15 s-ID		
Masa	220 kg		

Armarea mecanismului de acționare și comanda întrerupătorului pot fi făcute manual sau electric.

a) *Armarea manuală a resortului de închidere.* Pentru armarea manuală a resortului de închidere este necesară introducerea completă a manivelei în orificiul (6) și rotirea acesteia în sensul acelor de ceasornic până apare indicația corespunzătoare pe dispozitivul de semnalizare (7). Forța ce trebuie în mod normal aplicată este de 130 N și nu trebuie să depășească 170 N.

b) *Armarea electrică a resortului.* Întrerupătoarele pot fi prevăzute cu următoarele accesorii în vederea acționării electrice: motor pentru armarea automată a resortului de închidere; electromagnet de anclanșare; electromagnet de declanșare. Motorul realizează armarea automată a resortului, după fiecare operație de închidere. Dacă tensiunea de alimentare a motorului se întrerupe pe durata armării resortului, motorul se oprește și va reporni automat la reapariția tensiunii operative. Totodată este posibilă terminarea armării resortului pe cale manuală.

c) *Închiderea întrerupătorului.* Această operație poate fi realizată doar dacă resortul de închidere este complet armat. Pentru închiderea manuală se apasă butonul (3). Dacă întrerupătorul este prevăzut cu un electromagnet de anclanșare, închiderea se poate realiza și de la distanță printr-un circuit de comandă. Indicatorul (5) confirmă închiderea întrerupătorului. În cazul în care căruciorul a fost pus la pământ, se activează cheia de blocare (în poziția închis) și se scoate. Aceasta va preveni deschiderea accidentală a întrerupătorului în timpul operațiilor de mentenanță.

d) *Deschiderea întrerupătorului.* Pentru deschiderea manuală se apasă butonul (2). Dacă întrerupătorul este prevăzut cu electromagnet de declanșare, această manevră poate fi realizată și de la distanță. Indicatorul (5) confirmă deschiderea întrerupătorului.

În Fig.10.6 este prezentată o secțiune prin polul unui întrerupător cu SF₆, tip HD4, respectiv sunt date etapele în funcționarea unei camere de stingere a acestuia.

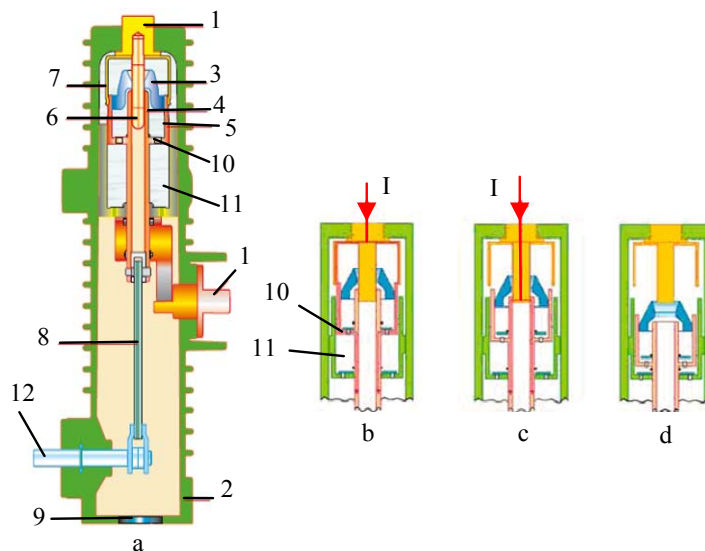


Fig.10.6

Componentele camerei de stingere și modul de funcționare

Calea principală de curent a polului este constituită din bornele de conexiune 1 și contactele de lucru, 5-mobil și 7-fix. În paralel cu calea principală de curent este conectat traseul de rupere, format din contactele de rupere (6-fix, 4-mobil).

Sistemul de suflaj autopneumatic este constituit din duza de suflaj 3, pistonul mobil 10 și camera de compresie 11. La acționare, mișcarea se transmite de la axul motor 12 la echipajul mobil (format din reperele 3, 4, 5, 10), prin intermediul pârgheii electroizolante 8. Corelarea mecanică a lanțurilor cinematice corespunzătoare celor două căi conductoare permite deschiderea contactelor de lucru 5, 7 înaintea celor de rupere, arcul electric formându-se între acestea din urmă (4, 6). Sub acțiunea autocompresiei din camera 11, gazul SF₆ traversează duza de suflaj 3, exercitând suflajul în vederea stingerii arcului electric. În Fig.10.6a s-au mai notat: 2-carcasă electroizolantă; 9-supapă anti-explozie.

3. Verificarea întrerupătoarelor de medie tensiune cu hexafluorură de sulf tip HD4

Echipamentele de comutație, în funcție de tipul acestora (ulei, SF₆, vid) necesită o activitate de mentenanță specifică. Verificările și frecvența acestora, la care sunt supuse întrerupătoarele cu hexafluorură de sulf tip HD4 depind de condițiile de funcționare. Astfel, trebuie ținut cont de următorii factori: numărul de acționări, valoarea curentului întrerupt, factorul de putere și mediul de lucru.

În Tab.10.2 sunt date principalele verificări la care sunt supuse, în exploatare, întrerupătoarele de medie tensiune tip HD4 precum și intervalul de timp sau numărul de manevre după care acestea vor fi efectuate, [4].

Tab.10.2

Nr. crt.	Denumirea verificării	Criteriul	Observații
1.	Realizarea a cinci acționări mecanice închis-deschis	1 an	Întrerupătorul trebuie să funcționeze normal fără opriri în poziții intermediare.
2.	Inspecție vizuală a polilor (părților din rășină)	5 ani sau 5000 manevre	Izolația din rășină nu trebuie să prezinte urme de descărcări parțiale, praf, mizerie etc.
3.	Inspecție vizuală a mecanismului de acționare	5 ani sau 5000 manevre	Elementele mecanismului de acționare nu trebuie să prezinte nici o deformare, iar șuruburile și piulițele trebuie să fie strânse.
4.	Verificarea contactelor debroșabile	5 ani sau 5000 manevre	Contactele debroșabile nu trebuie să fie deformate sau erodate. Elementele contactelor vor fi curățate și unse cu vaselină.

5.	Măsurarea rezistenței de izolație a circuitului de medie tensiune	5 ani sau 5000 manevre	Măsurarea se face între faze și între faze și pământ cu un megohmetru de 2,5 kV. Rezistența de izolație trebuie să fie de cel puțin 50 M Ω și constantă în timp.
6.	Măsurarea rezistenței de izolație a circuitelor auxiliare	5 ani sau 5000 manevre	Măsurarea se face între circuitele auxiliare și pământ cu un megohmmetru de 500 V. Rezistența de izolație trebuie să fie de câțiva M Ω și constantă în timp.
7.	Verificarea sistemului de interblocare	5 ani	Interblocajele trebuie să funcționeze corect.

4. Programul lucrării

4.1. Studiul construcției întrerupătorului de medie tensiune cu hexafluorură de sulf tip HD4

Se studiază construcția și funcționarea întrerupătorului existent la lucrare, identificându-se elementele componente ale căilor de curent, ale dispozitivelor de stingere a arcului electric și ale mecanismului de acționare. Se analizează schemele electrice de control/comandă/semnalizare ale întrerupătorului, Anexa 3. Se notează tipul și parametrii nominali ai întrerupătorului studiat și se desenează schemele electrice corespunzătoare armării și comenzilor de închidere și deschidere ale acestuia.

4.2. Măsurarea rezistenței de izolație a circuitului de medie tensiune

Proba se execută cu ajutorul unui megohmetru de 2,5 kV sau 5 kV, care are limita maximă a scalei mai mare de 10^4 M Ω . Rezistența de izolație a cordoanelor trebuie să depășească domeniul maxim de măsurare al megohmmetrului. Măsurarea rezistenței de izolație se efectuează între contactele deschise ale aceluiași pol, între poli, respectiv între poli și părțile care se conectează la pământ, Fig.10.7, Fig.10.8.

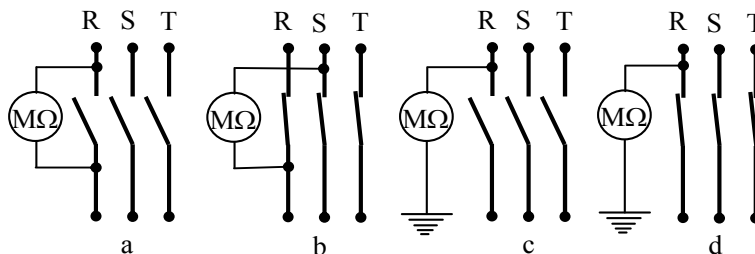
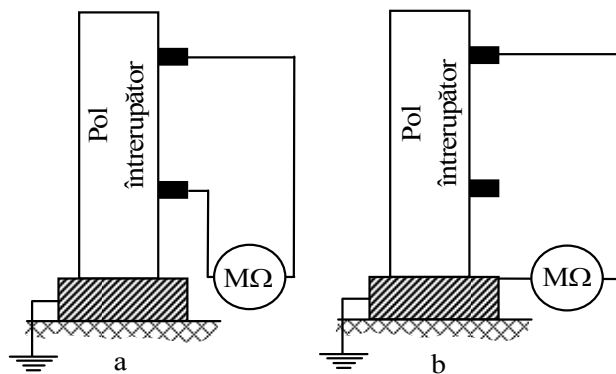


Fig.10.7

Scheme electrice pentru măsurarea rezistenței de izolație

**Fig.10.8***Măsurarea rezistenței de izolație pe pol*

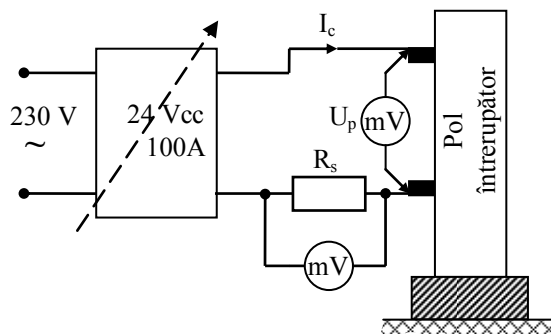
Valorile minime ale rezistenței de izolație, citite la un minut de la aplicarea tensiunii și trecute în Tab.10.3, trebuie să fie mai mari decât valoarea minimă admisibilă corespunzătoare probei efectuate, precizată în Tab.10.2.

Tab.10.3

Întrerupător tip:		$U_n = \dots\dots\dots$ [kV]		$t = 60$ [s]
		Rezistența de izolație, [MΩ]		
		Pol R	Pol S	Pol T
Între poli		R-S	S-T	T-R
Între contacte				
Față de pământ	întrerupător deschis			
	întrerupător închis			

4.3. Măsurarea rezistenței pe pol

Rezistența pe pol se determină prin măsurarea căderilor de tensiune pe fiecare pol, Fig.10.9, cu întrerupătorul închis și parcurs de un curent continuu de intensitate $100 \text{ A} \leq I_c \leq I_n$, I_n fiind intensitatea curentului nominal al întrerupătorului.

**Fig.10.9***Măsurarea căderilor de tensiune pe fiecare pol*

Rezistența pe pol se calculează cu relația:

$$R_p[\Omega] = \frac{U_p[V]}{I_c[A]}. \quad (10.1)$$

Se vor efectua trei determinări, la valori diferite ale curentului I_c , pentru fiecare pol în parte, iar datele obținute se vor trece în Tab.10.4.

Tab.10.4

Înterupător tip:				
Pol	U_p , [mV]	I_c , [A]	R_p , [m Ω]	$R_{p\ med}$, [m Ω]
R				
S				
T				

Valorile măsurate nu trebuie să depășească cu mai mult de 50%, pe cele de referință.

5. Conținutul referatului

- ❑ Schemele electrice de armare/închidere/deschidere ale înterupătorului și cele ale montajelor utilizate pentru încercări;
- ❑ Tabelele de date completate;
- ❑ Rezultatele măsurării rezistenței de contact;
- ❑ Observații și concluzii privind construcția și funcționarea înterupătorului cu hexafluorură de sulf de medie tensiune studiat.

6. Bibliografie

- [1] Baraboi A., Adam M., *Echipamente electrice (vol. I)*. Editura "Gh. Asachi" Iași, 2002.
- [2] Adam M., Baraboi A., *Echipamente electrice (vol.II)*, Editura "Gh. Asachi" Iași, 2002.
- [3] ***, HD4, Gas insulated MV circuit-breakers, 12 ... 40.5 kV - 630 ... 3600 A - 16 ... 50 kA (catalog), ABB, 2009.
- [4] ***, HD4, Installation and service instructions (manual de exploatare), ABB, 2009.
- [5] ***, <http://www.abb.com>

Lucrarea nr. 11

Întreprupătoare de medie tensiune cu vid

1. Amorsarea și stingerea arcului electric în vid

Utilizarea vidului avansat ($10^{-7} \dots 10^{-2}$ Pa) ca mediu electroizolant și de stingere a arcului electric în comutația de putere a fost prefigurată încă din anii 1920 dar, ca și în cazul hexafluorurii de sulf, a fost necesară trecerea câtorva decenii până când, abia în 1950, primele întreprupătoare să poată fi comercializate. Inițial evoluția acestei tehnici de comutație a fost destul de lentă, probabil și din cauza principiilor total noi pe care se bazează. În prezent, întreprupătoarele cu vid avansat cunosc generalizarea în rețelele de distribuție de medie tensiune.

În Fig.11.1 sunt date curbele de dependență a tensiunii de străpungere U_s în raport cu distanța d , considerată între două contacte amplasate în aer, ulei și hexafluorură de sulf, respectiv într-un spațiu vidat. Sunt astfel evidențiate proprietățile electroizolante ale vidului avansat, caracterizat prin tensiuni de străpungere de valori mari, ceea ce conduce la obținerea unor distanțe de izolație mult mai mici decât în alte medii electroizolante. Din aceste motive, la aceeași tensiune nominală, dimensiunile de gabarit ale echipamentelor cu stingerea arcului electric în vid rezultă mai mici decât cele întâlnite la echipamente funcționând cu alte medii de stingere (ulei, aer, SF₆).

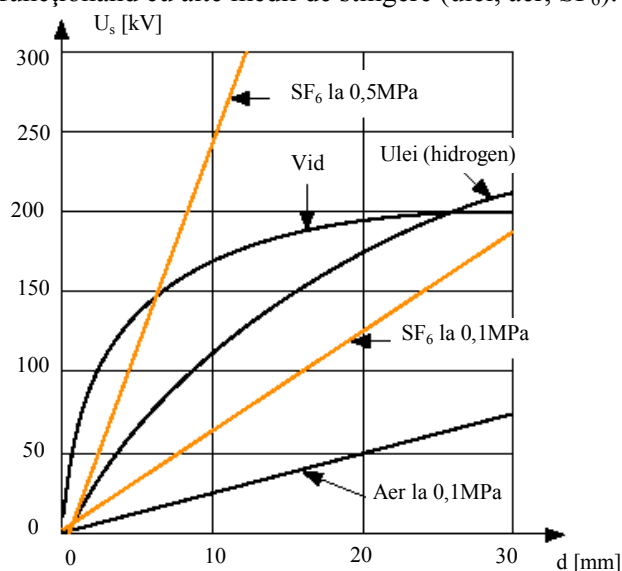
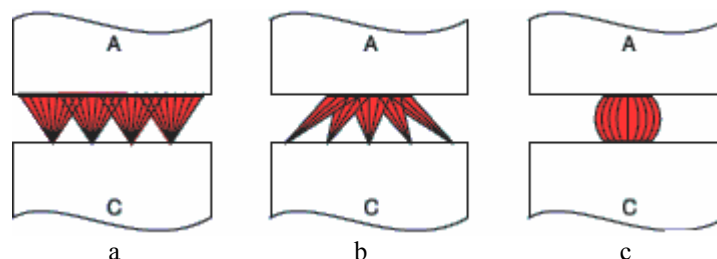


Fig.11.1

Dependența tensiunii de străpungere, U_s , în raport cu distanța d

**Fig.11.2**

Arcul electric în vid: a-difuz; b-trecerea de la arcul difuz la cel concentrat; c-concentrat.

Arcul electric amorsat în vid, la separarea pieselor de contact este o plasmă de vapori proveniți din metalul contactelor, caracterizată printr-o mare viteză de difuzie în spațiul vidat.

În vid arcul electric poate exista sub formă difuză (când este traversat de curenți cu intensitatea mai mică de 3...5 kA), respectiv concentrată, în cazul curenților cu intensități de valori mari, Fig.11.2. Curentul limită la care arcul electric trece dintr-o stare în alta depinde de dimensiunile, forma și materialul din care sunt confecționate contactele și electrozii acestora, precum și de viteza de variație a intensității curentului.

Arcul electric difuz este constituit din numeroase coloane arzând în paralel, fiecare provenind din câte un spot catodic existent pe electrodul negativ. Din acestea se desprind spre anod canale de plasmă, parcurse de curenți cu intensitatea de 20...100 A și densități de curent de cel puțin 10^{12} A/m², [1]. Spoturile catodice se deplasează continuu pe suprafața electrozilor (cu viteze ce ajung la 10 m/s) și se resping reciproc, în timp ce forțele Lorentz dintre coloanele de arc exercită tendința de a le apropia. La curenți de mică intensitate, o influență mai mare o are efectul de respingere între spoturi.

Electronii traversează distanța dintre contacte cu viteze de ordinul 10^6 m/s, formând coloane de arc difuz conice (Fig.11.2a), având în vecinătatea axei temperaturi mai mari de 3000 K. Arderea arcului electric presupune existența unui curent minim de menținere, dependent de materialul contactelor.

Pe durata de ardere a arcului electric difuz, gradul de electroeroziune al contactelor (pierderea de masă raportată la sarcina electrică transportată) se consideră aproximativ constant, fiind dependent de materialul contactelor și de forma curentului.

Când intensitatea curentului prin arcul difuz se mărește, numărul spoturilor catodice și al coloanelor de arc crește, se mărește și tensiunea de arc (ajungând la circa 40 V pentru un curent cu intensitatea de 7 kA) și, mărind în continuare intensitatea curentului, tensiunea crește brusc până la valori de ordinul 100...200 V. În acest stadiu apar spoturi anodice, arcul electric devenind de tip concentrat, (Fig.11.2c).

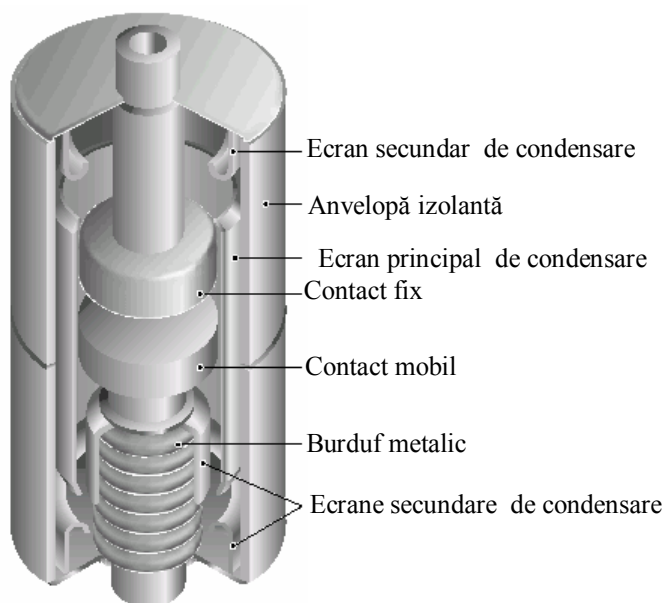
La curenți mai mari de 10 kA, atât spoturile anodice cât și cele catodice ajung de dimensiuni mari și își reduc mobilitatea, evoluția ulterioară a descărcării depinzând de condițiile termice de la contacte. Evitarea topirii locale a pieselor de contact este posibilă prin deplasarea extremităților arcului pe toată suprafața acestora și pe electrozi. Utilizarea unor câmpuri magnetice radiale pune coloana arcului electric în mișcare de rotație în timp ce, prin câmpuri magnetice axiale, extremitățile arcului se extind la suprafețe mărite pe contacte și electrozi. În ambele cazuri se obțin micșorarea și uniformizarea electroeroziunii suprafețelor de contact. Stingerea arcului depinde de densitatea locală a vaporilor de metal din intervalul dintre contacte și din jurul acestora.

Viteza de difuzie a plamei crește rapid pe măsură ce intensitatea curentului scade și se apropie de trecerea prin zero, fiind create condițiile necesare condensării vaporilor de metal și refacerii vidului în camera de stingere, în urma cărora se obține întreruperea definitivă a curentului.

Circa 90%, din vaporii metalici în care se amorsează arcul electric se depun prin condensare pe suprafețele de contact din care provin. În acest fel metalul pieselor de contact este recuperat aproape integral, intensitatea electroeroziunii fiind limitată la valori foarte mici. Pe această cale se obține creșterea substanțială a duratei de funcționare a contactelor. Condensarea vaporilor metalici în care se amorsează arcul electric de deconectare este stimulată prin amplasarea în vecinătatea contactelor a unor ecrane metalice spre care plasma difuzează. Inerția termică a arcului electric, dată de constanta sa de timp, este extrem de mică. La anularea intensității curentului, refacerea rigidității dielectrice a spațiului dintre contacte este cu atât mai rapidă cu cât presiunea reziduală a vaporilor metalici din plasmă este mai scăzută, adică arcul electric arde în starea difuză. Trecerea rapidă de la arcul concentrat la cel difuz se obține prin alegerea judicioasă a materialelor și prin construcția adecvată a sistemului de contacte.

2. Caracteristici constructive și funcționale

Tehnica vidului avansat nu permite intervenția asupra procesului de comutație decât printr-un număr redus de parametri; spre deosebire de toate celelalte tehnici, în acest caz nu se poate acționa asupra naturii sau presiunii mediului de stingere, vitezei suflajului, diametrului ajutorajelor sau alungirii coloanei arcului electric etc. Mai mult, probleme tehnologice foarte dificile, cum este cea a realizării unor lipituri perfect etanșe și stabile între un metal și un material ceramic sau obținerea unor metale cu un grad foarte ridicat de puritate, fac din comutația în vid avansat, sub raportul obținerii de parametri performanți, una din cele mai pretențioase tehnici. Contrar unor previziuni sceptice, rezultatele nu au întârziat să apară și, în prezent, tehnica vidului avansat reprezintă un concurent redutabil pentru aparatele cu hexafluorură de sulf în domeniul instalațiilor de medie tensiune.

**Fig.11.3**

Construcția unei camere de stingere vidate

În Fig.11.3 se prezintă construcția unei camere de stingere unde se evidențiază principalele elemente constructive: anvelopa izolantă, sistemul de contacte, burduful de etanșare și ecranele metalice cu rol de suport pentru condensarea vaporilor care alcătuiesc plasma.

Durata de funcționare a unei camere de stingere vidate depinde în foarte mare măsură de soluția constructivă adoptată, de realizarea unui înalt grad de etanșare, de natura materialelor contactelor. Presiunea inițială în camera de stingere este de circa 10^{-7} Pa. Creșterea presiunii pe durata exploatării se datorează atât neetanșeităților de fabricație cât și difuziei normale a aerului prin pereți; pentru o durată de funcționare de circa 20 ani, realizată de camerele de stingere actuale, este necesar ca pierderea specifică de presiune să fie mai mică de 10^{-11} Pa·ℓ/s. Camera de stingere devine inutilizabilă la depășirea presiunii de 10^{-2} Pa deoarece, în acest caz, lungimea drumului liber al particulelor de gaz ajunge la dimensiunile camerei de stingere și se poate amorsa fenomenul de ionizare prin șoc.

În construcția contactelor și electrozilor întrerupătoarelor cu stingerea arcului electric în vid se au în vedere următoarele aspecte tehnice:

- realizarea nivelului nominal de izolație între contactele deschise;
- asigurarea unui înalt grad de puritate pentru materialele de contact;
- dozarea corespunzătoare a cantității de vapori metalici produși la deconectare;
- adoptarea formei și dimensiunilor optime pentru piesele de contact și electrozi;
- stabilizarea prin câmpuri magnetice a arcului electric de deconectare, în faza finală de ardere a acestuia.

Dacă incinta vidată poate determina, prin pierderea vidului, micșorarea duratei de funcționare a unui întrerupător, sistemul de contacte și electrozi influențează direct valorile multor parametri funcționali, dintre care se menționează: capacitatea nominală de rupere la scurtcircuit, mărimea supratensiunilor de comutație, durata de funcționare, prețul și însăși menținerea îndelungată a vidului în camera de stingere. Din aceste motive, una din direcțiile de efort în cercetarea consacrată dezvoltării echipamentelor de comutație cu vid este îndreptată spre stabilirea formei și dimensiunilor constructive optime ale sistemului de contacte și realizarea materialelor cu cele mai bune proprietăți pentru construirea pieselor de contact și a electrozilor.

Durata mare de funcționare a întrerupătoarelor cu vid impune recuperarea aproape integrală, la deconectare, a vaporilor metalici proveniți din piesele de contact. Aceasta se obține prin condensarea vaporilor chiar pe suprafețele pieselor de contact, depunerea fiind stimulată de realizarea unei distanțe mici, de circa 10 mm, între contactele deschise.

Între piesele de contact situate la distanțe atât de mici, intensitatea câmpului electric are valori foarte mari (de ordinul 200...300 kV/cm), încât forma, gradul de prelucrare și dimensiunile suprafețelor de contact joacă un rol important în asigurarea unor valori mari pentru tensiunea de străpungere. Deoarece străpungerea în acest caz are loc prin emisie electronică la catod, micile asperități sau neuniformități ale suprafețelor de contact pot conduce la inițierea străpunerii în câmp electric.

Ținând seama de procesele repetate de vaporizare și condensare, este necesar ca materialul contactelor să aibă un înalt grad de puritate și să fie total lipsit de gaze; în acest fel este posibilă redepunerea uniformă a metalului vaporizat pe suprafețele de contact și, în același timp, menținerea vidului în camera de stingere.

Un alt aspect tehnic, determinant în alegerea materialelor pentru contactele care funcționează în vid, este legat de tendința de sudare a pieselor de contact, atunci când contactul este închis. Deoarece piesele de contact nu sunt separate între ele nici măcar prin straturi străine monomoleculare de gaz, tendința de sudare se manifestă vizibil chiar la temperatură normală și sub acțiunea unor forțe de apăsare având valori relativ mici. Ruperea la deschidere a punților metalice rezultate prin sudare se soldează cu asperități pe suprafețele de contact, fapt care conduce la micșorarea tensiunii de străpungere între contactele deschise.

Materialele pentru contactele întrerupătoarelor cu vid trebuie să satisfacă, de asemenea, cerințe privind conductivitatea termică și presiunea de vapori, astfel încât să fie posibilă dozarea optimă a cantității de vapori dezvoltate la deconectare. Datorită vitezei mari de difuzie a plasmei în vid, arcul electric este instabil și poate fi stins înainte de momentul anulării naturale a intensității curentului, existând tendința de funcționare cu tăiere (smulgere) de curent; aceasta, la rândul ei, conduce la apariția unor supratensiuni de comutație

având valori mari. În Fig.11.4 este reprezentat curentul prin întrerupător în ipoteza stingerii arcului electric în momentul t_0 , la valoarea $i_t \neq 0$ a curentului tăiat.

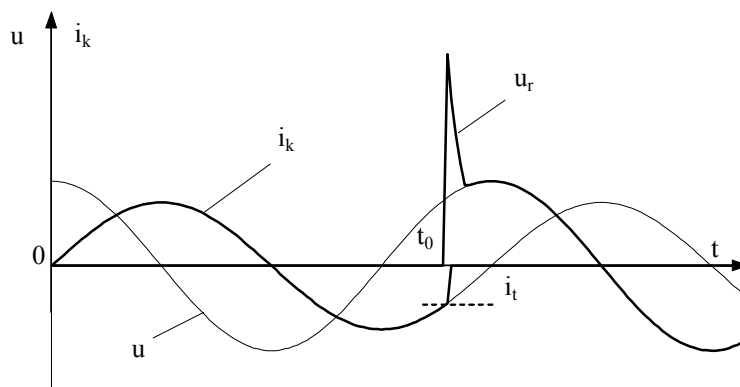


Fig.11.4

Deconectarea cu tăiere de curent

Energia magnetică înmagazinată în inductanțele circuitului de sarcină este convertită în energie electrostatică, la bornele întrerupătorului înregistrându-se supratensiuni de comutație care pot fi de valori mari; acestea se estimează cu ajutorul relației:

$$u_m = i_t \sqrt{\frac{L}{C}}, \quad (11.1)$$

u_m fiind supratensiunea, iar L , C -parametrii echivalenți ai rețelei deconectate.

Din acest motiv, intensitatea curentului tăiat trebuie să aibă valori cât mai mici care, constituind un criteriu de calitate pentru întrerupătoarele cu vid, se obțin și prin creșterea cantității de vapori produși la deconectare.

Astfel, dacă la primele serii de întrerupătoare cu vid, prevăzute cu contacte de cupru, intensitatea curentului tăiat avea valori de 20...40 A, prin utilizarea unor materiale sinterizate de tipul Cu-Bi și, mai curând Cu-Cr, aceste niveluri au fost scăzute la circa 8 A, respectiv sub 3 A.

Dozarea optimă are în vedere asigurarea arderii stabile a arcului electric până la valori ale intensității curentului foarte apropiate de zero și, în același timp, realizarea unei durate de viață cât mai mari pentru contacte, prin limitarea electroeroziunii acestora.

Materialele cercetate și utilizate pentru construcția contactelor și a electrozilor sunt aliaje sau compoziții sinterizate pe bază de cupru, căruia i se adaugă anumite cantități de wolfram, molibden sau crom.

Influențe favorabile privind micșorarea efectului de tăiere a curentului la deconectare se obțin prin adăugarea de stibiu și zinc.

Cromul are față de wolfram avantajele unei temperaturi de vaporizare mai scăzute, astfel încât probabilitatea de producere a termoemisiei electronice

după condensarea metalului este mai mică; arcul electric se stinge definitiv în zona primei treceri prin zero a intensității curentului. Utilizarea cromului este, de asemenea, preferată datorită efectului înalt de getter (degazor) pe care acesta îl exercită.

În Tab.11.1 se prezintă valori ale curentului tăiat pentru câteva materiale uzuale utilizate în construcția contactelor electrice, [2].

Tab.11.1

Materialul de contact	Curentul tăiat [A]	
	Valoare medie	Valoare maximă
Cu	15	21
CuCr	4	8
AgWC	1	1,1

Forma constructivă a contactelor și geometria electrozilor răspund cerințelor privind asigurarea unei uzuri uniform distribuite pe suprafața acestora.

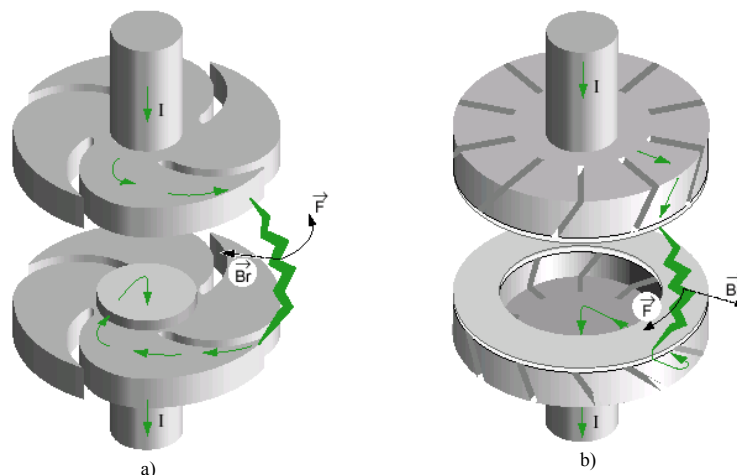


Fig.11.5

Contacte folosite pentru realizarea câmpului magnetic radial: a-contacte spiralate; b-contacte de tip cupă (contrate).

În Fig.11.5 sunt prezentate două structuri de contacte care permit obținerea unui câmp magnetic radial: contacte spiralate (Fig.11.5a) respectiv, contacte de tip *cupă* sau *contrate* (Fig.11.5b). Câmpul magnetic radial de inducție B_r este datorat modului de circulație a curentului prin contacte. Acest câmp magnetic radial, produs în zona de ardere a arcului electric, conduce la apariția unei forțe electromagnetice rezultante F care va provoca o mișcare de rotație a arcului în jurul axei contactelor. Contactele prezentate în Fig.11.5 sunt din categoria celor cu câmp magnetic orientat transversal pe coloana arcului electric. Aceste contacte nu pot întrerupe curenți mai mari de 40 kA, chiar dacă

diametrul pieselor de contact ajunge la 100...150 mm. La aceleași dimensiuni este posibilă aproape dublarea curentului întrerupt, dacă în zona de contact se creează un câmp magnetic axial.

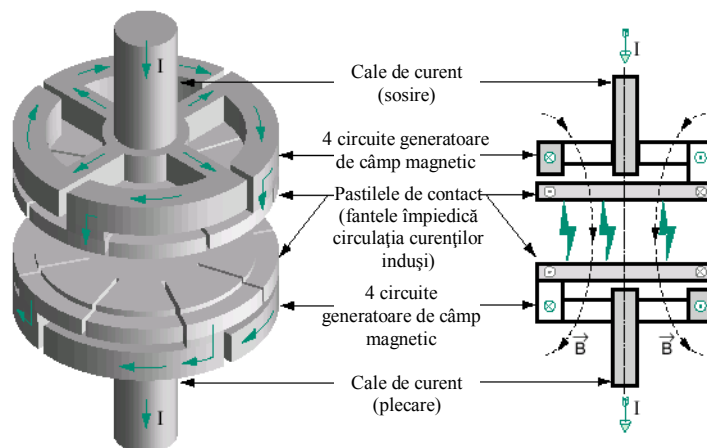


Fig.11.6

Contacte generatoare de câmp magnetic axial

Aplicarea unui câmp magnetic axial impune electronilor și ionilor traiectorii elicoidale în lungul liniilor de câmp ceea ce stabilizează arcul electric

în formă difuză și împiedică apariția forme concentrată a acestuia. Arcul electric utilizează astfel aproape întreaga suprafață a contactelor, încălzirea contactelor este limitată și astfel electroeroziunea rămâne redusă. Sub acțiunea câmpului este împiedicată totodată difuzia plasmei reziduale care afectează procesul de refacere a rigidității dielectrice în camera de stingere.

Diverse soluții constructive sunt adoptate pentru a se obține, cu ajutorul curentului ce trebuie întrerupt, câmpul magnetic axial între contacte, de exemplu spire integrate în piesele de contact (Fig.11.6) sau o spirală exterioară anvelopei (Fig.11.7).

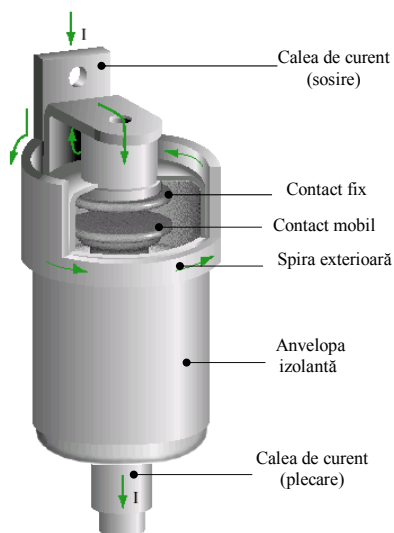
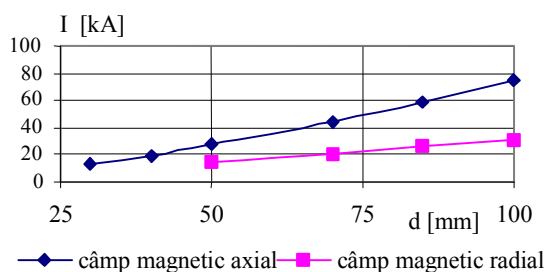


Fig.11.7

Camera de stingere cu spirală exterioară pentru realizarea câmpului magnetic axial

**Fig.11.8**

Capacitatea de deconectare a întrerupătoarelor cu vid în funcție de diametrul pieselor de contact

În capsule vidate echipate cu contacte funcționând cu câmp magnetic axial și în condiții de laborator s-au întrerupt curenți având intensitatea de circa 200 kA. În Fig.11.8 se prezintă dependența capacității nominale de deconectare la scurtcircuit a întrerupătoarelor cu vid, în raport cu diametrul pieselor

de contact, la contacte cu câmp magnetic radial, respectiv axial, [2].

Indicatorii de fiabilitate ai întrerupătoarelor de orice tip sunt puternic afectați de nefuncționarea sistemului mecanic și a mecanismului de acționare care le echipază; circa 80% din refuzurile și defectele întrerupătoarelor sunt de natură mecanică. Mecanismele de acționare care echipază întrerupătoarele cu vid trebuie să se caracterizeze prin durate mari de funcționare fără revizii și reparații, duranța mecanică necesară fiind de câteva zeci de mii de acționări, compatibilă cu indicatorii de fiabilitate ai părții active (cameră de stingere, sistem de contacte). Cerințele impuse mecanismelor de acționare ale întrerupătoarelor cu vid sunt îndeplinite în condiții bune de variantele cu acumulare de energie în resorturi, ușor de adaptat pentru deplasarea pe distanțe mici a contactelor mobile. Energia acumulată în resorturi, necesară pentru acționare, are valori de 50...150 J.

Variantele construite realizează, în mod obișnuit și în condiții precizate privind duranța mecanică, un număr de $(2...3)10^4$ acționări.

3. Întrerupătorul de medie tensiune cu vid de tip VD4

Firma ABB a dezvoltat o gamă largă de echipamente de medie tensiune cu vid. Dintre acestea fac parte și întrerupătoarele tripolare de interior tip VD4, utilizate pentru comutația curenților de scurtcircuit, a liniilor electrice aeriene și în cablu aflate sub sarcină sau în gol, a transformatoarelor și generatoarelor etc. Întrerupătoarele VD4 (low/mid duty, high duty) se construiesc în variantă fixă și debroșabilă, cu tensiuni nominale de la 12 la 36 kV, intensitatea curentului nominal în gama 630...4000 A și capacitatea nominală de deconectare la scurtcircuit de 16...63 kA, [3], [5].

În Fig.11.9 sunt prezentate elementele componente ale întrerupătorului, și anume: manetă pentru armarea manuală a întrerupătorului (1); dispozitiv de semnalizare închis/deschis (2); plăcuța de identificare a întrerupătorului ce conține parametrii nominali și valorile acestora (3); buton de deschidere (4); buton de închidere (5); dispozitiv de semnalizare armat/dezarmat (6); contor

număr acționări (7); contacte debroșabile (8); conector cu pini (9); cabluri de conectare (10); mâner pentru manipulare (11).

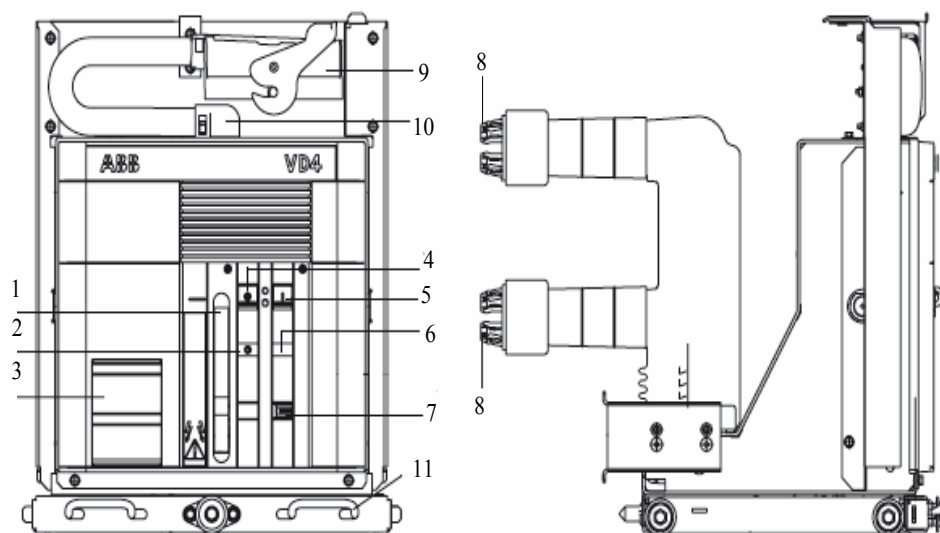


Fig.11.9

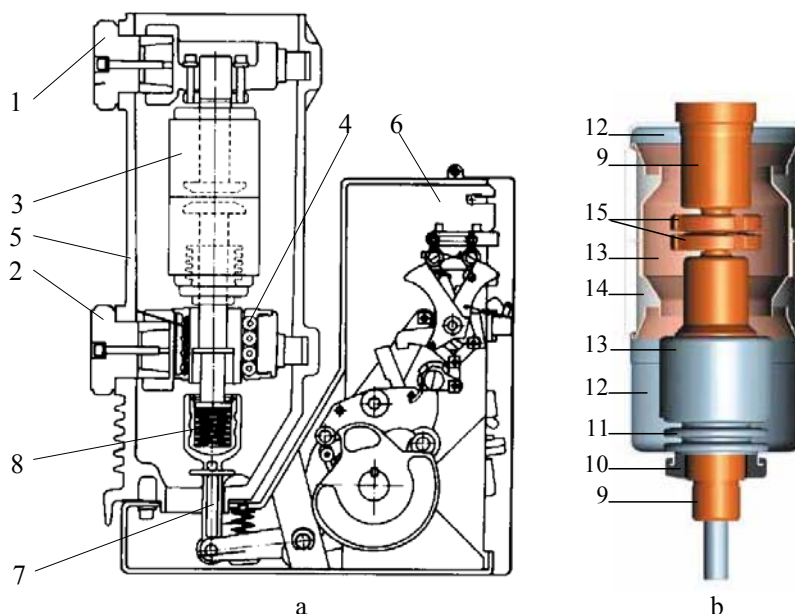
Arhitectura întrerupătorului VD4

În Tab.11.2 sunt prezentați principalii parametri ai întrerupătorului VD4 din laborator.

Tab.11.2

Întrerupător: VD4/W-12-12-25, IEC 62271-100, CEI 17-1 SN-1VC1AE00026620	
Parametrii nominali	Valori nominale
Tensiunea nominală	12 kV
Tensiunea de ținere la impuls	75 kV
Frecvența nominală	50/60 Hz
Curentul nominal	1250 A
Curentul limită termic (3s)	25 kA
Timpul de închidere/deschidere	60-80/40-60 ms
Capacitatea de rupere	25 kA
Capacitatea nominală de închidere	63 kA
Secvența de operare	D-0,3 s-ID-3 min-ID
Masa	135 kg

Mecanismul de acționare EL1	
MO1	220 V -
MO2	220 V -
MS	220 V 50Hz
MC	220 V -

**Fig.11.10**

*Construcția întrerupătorului VD4:
a-secțiune prin pol; b-construcția camerei de stingere.*

În Fig.11.10a,b este reprezentată o secțiune prin polul, respectiv camera de stingere a unui întrerupător cu vid tip VD4, [2], [3].

Calea de curent este constituită din bornele de conexiune 1, 2, contactele capsulei vidate 3 și contactul alunecător 4, realizat de tip pivotant sau cu role, în funcție de intensitatea curentului nominal, Fig.11.10a. Pe durata funcționării mecanismului de acționare 6, mișcarea se transmite contactului mobil prin tija electroizolantă 7 și resortul 8, ultimul având rolul de a realiza forța necesară de apăsare în contact.

Camera de stingere (Fig.11.10b) este formată din terminalele (9), piesa de protecție (10), burduful metalic de etanșare (11), capacele (12), ecranele metalice de condensare (13), peretele ceramic (14), contactele metalice (15).

Armarea mecanismului de acționare și comanda întrerupătorului pot fi făcute manual sau electric.

a) Armarea manuală a resortului de închidere. Pentru armarea manuală a resortului de închidere este necesară acționarea repetată a manetei (1), până când apare indicația corespunzătoare pe dispozitivul de semnalizare (6), Fig.11.9.

b) Armarea electrică a resortului. În vederea acționării electrice, întrerupătoarele pot fi prevăzute cu următoarele accesorii: motor pentru armarea automată a resortului de închidere, electromagnet de anclanșare, electromagnet de declanșare. Motorul realizează automat armarea resortului, după fiecare

operație de închidere. Dacă, pe durata armării resortului, tensiunea de alimentare se întrerupe, motorul se oprește; acesta va porni automat la reapariția tensiunii operative. Totodată este posibilă terminarea armării resortului pe cale manuală.

c) *Închiderea întrerupătorului.* Această operație poate fi realizată doar dacă resortul de închidere este complet armat. Pentru închiderea manuală se apasă butonul (5), Fig.11.9. Dacă întrerupătorul este prevăzut cu electromagnet de anclanșare, închiderea se poate realiza și de la distanță, printr-un circuit de comandă. Indicatorul (2) confirmă închiderea întrerupătorului. În cazul în care căruciorul a fost pus la pământ, se activează cheia de blocare (în poziția închis) și se scoate. Aceasta va preveni deschiderea accidentală a întrerupătorului în timpul operațiilor de mentenanță.

d) *Deschiderea întrerupătorului.* Pentru deschiderea manuală se apasă butonul (4), Fig.11.9. Dacă întrerupătorul este prevăzut cu electromagnet de declanșare, această manevră poate fi realizată și de la distanță. Indicatorul (2) confirmă deschiderea întrerupătorului.

În Tab.11.3 sunt date principalele verificări [4], la care sunt supuse întrerupătoarele de medie tensiune tip VD4.

Tab.11.3

Nr. crt.	Denumirea verificării	Modul de efectuare a verificării	Observații
1.	Măsurarea rezistenței de izolație a circuitului de medie tensiune	Măsurarea se face între faze și între faze și pământ cu un megohmmetru de 2,5 kV.	Rezistența de izolație trebuie să fie de cel puțin 50 MΩ și constantă în timp.
2.	Măsurarea rezistenței de izolație a circuitelor auxiliare	Măsurarea se face între circuitele auxiliare și pământ cu un megohmmetru de 500 V.	Rezistența de izolație trebuie să fie de câțiva MΩ și constantă în timp.
3.	Armarea și comanda manuală a întrerupătorului	Verificarea se face realizând manual câteva manevre de deschidere și închidere a întrerupătorului.	Acționarea și semnalizările trebuie să fie corespunzătoare.
4.	Funcționarea motorului mecanismului de acționare	Se alimentează motorul care realizează armarea resortului la tensiunea nominală auxiliară.	Se urmărește: realizarea armării resortului; semnalizării armării acestuia atunci când el s-a armat; oprirea motorului la finalul armării.
		Se execută un număr de manevre de închidere/deschidere.	Motorul de armare retensionează arcurile după fiecare manevră de închidere.
5.	Funcționarea declanșatorului de minimă tensiune (când există)	Se alimentează declanșatorul de minimă tensiune la tensiunea nominală auxiliară și de realizează operațiunea de închidere.	Întrerupătorul trebuie să se închidă normal și să semnalizeze corect această manevră.
		Se deconectează sursa auxiliară de tensiune.	Se urmărește dacă întrerupătorul se deschide automat și dacă semnalizează corect această manevră.

6.	Funcționarea electromagnetului de declanșare și a electromagnetului de declanșare auxiliar (dacă există)	Cu întrerupătorul închis și cu electromagnetul de declanșare alimentat la tensiunea nominală auxiliară.	Întrerupătorul trebuie să declanșeze la comandă și să semnalizeze corect această manevră.
7.	Funcționarea electromagnetului de anclanșare	Cu întrerupătorul deschis și cu electromagnetul de anclanșare alimentat la tensiunea nominală auxiliară.	Întrerupătorul trebuie să închidă la comandă și să semnalizeze corect această manevră.

4. Programul lucrării

4.1. Studiul construcției întrerupătorului de medie tensiune cu vid de tip VD4

Se studiază construcția întrerupătorului existent la lucrare, identificându-se elementele componente ale căilor de curent, materialele folosite pentru construcția contactelor, dispozitivele de stingere a arcului electric și mecanismul de acționare. Se analizează schemele electrice de control, comandă și semnalizare ale întrerupătorului, Anexa 4. Se notează tipul și parametrii nominali ai întrerupătorului studiat și se desenează schemele electrice corespunzătoare armării și comenzilor de închidere și deschidere ale acestuia.

4.2. Măsurarea rezistenței de izolație a circuitului de medie tensiune

Proba se execută cu ajutorul unui megohmmetru de 2,5 kV sau 5 kV, care are limita maximă a scalei mai mare de $10^4 \text{ M}\Omega$. Rezistența de izolație a cordoanelor trebuie să depășească domeniul maxim de măsurare al megohmmetrului. Măsurarea rezistenței de izolație se efectuează între contactele deschise ale aceluiași pol, între poli, respectiv între poli și părțile care se conectează la pământ, Fig.11.11, Fig.11.12.

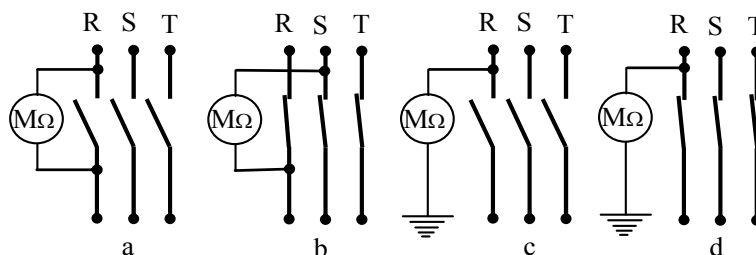


Fig.11.11

Scheme electrice pentru măsurarea rezistenței de izolație

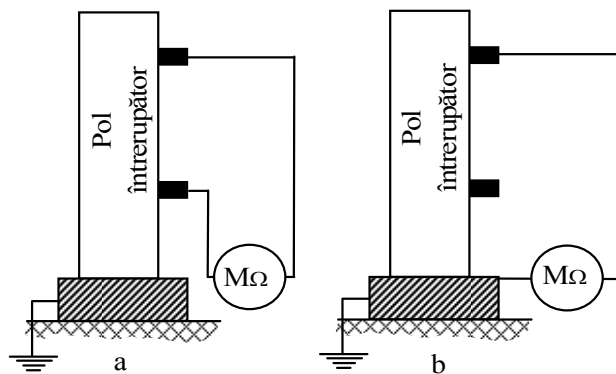


Fig.11.12

Măsurarea rezistenței de izolație pe pol

Valorile minime ale rezistenței de izolație, citite la un minut de la aplicarea tensiunii, trecute în Tab.11.4, trebuie să fie mai mari decât cea precizată în Tab.11.3.

Tab.11.4

Înterupător tip:		$U_n = \dots\dots\dots$ [kV]		$t = 60$ [s]
		Rezistența de izolație, [MΩ]		
		Pol R	Pol S	Pol T
Între poli		R-S	S-T	T-R
Între contacte				
Față de pământ	înterupător deschis			
	înterupător închis			

4.3. Măsurarea rezistenței pe pol

Rezistența pe pol se determină prin măsurarea căderilor de tensiune pe fiecare pol, Fig.11.13, cu înterupătorul închis și parcurs de un curent continuu de intensitate $100\text{ A} \leq I_c \leq I_n$, I_n fiind intensitatea curentului nominal al înterupătorului.

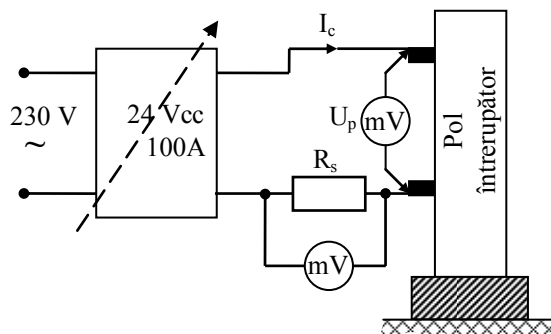


Fig.11.13

Măsurarea căderilor de tensiune pe fiecare pol

Rezistența pe pol se calculează cu relația:

$$R_p[\Omega] = \frac{U_p[V]}{I_c[A]}. \quad (11.2)$$

Se vor efectua trei determinări, la valori diferite ale curentului I_c , pentru fiecare pol în parte, iar datele obținute se vor trece în Tab.11.5.

Tab.11.5

Întrerupător tip:				
Pol	U_p , [mV]	I_c , [A]	R_p , [mΩ]	$R_{p\ med}$, [mΩ]
R				
S				
T				

Valorile măsurate nu trebuie să depășească cu mai mult de 50%, pe cele de referință.

5. Conținutul referatului

- ❑ Schemele electrice de armare/închidere/deschidere ale întrerupătorului și cele ale montajelor utilizate pentru încercări;
- ❑ Tabelele de date completate;
- ❑ Rezultatele măsurării rezistenței de contact;
- ❑ Observații și concluzii privind construcția și funcționarea întrerupătorului de medie tensiune studiat.

6. Bibliografie

- [1] Baraboi A., Adam M., *Echipamente electrice vol. I*, Editura "Gh. Asachi", Iași, 2002.
- [2] Adam M., Baraboi A., *Echipamente electrice vol. II*, Editura "Gh. Asachi", Iași, 2002.
- [3] ***, VD4, Medium voltage vacuum circuit-breakers, 12...36 kV - 630...3150 A - 16...50 kA, (catalog), ABB, 2011.
- [4] ***, VD4, Installation and service instructions (manual de exploatare), ABB, 2011.
- [5] ***, <http://www.abb.com>

BIBLIOGRAFIE

(generală)

- [1] Adam M., Istrate M., Baraboi A., Gușă M., Echipamente de comutație și izolația rețelelor electrice, Editura A.G.I.R., București, 2001.
- [2] Adam M., Baraboi A., Echipamente electrice, vol. II, Ed. „Gh. Asachi”, Iași, 2002.
- [3] Adam M., Pancu C., Baraboi A., Structuri hardware-software în construcția echipamentelor electrice inteligente, Editura VENUS, Iași, 2006.
- [4] Baraboi A., Adam M., Furnică E., Echipamente electrice. Lucrări de laborator, Institutul Politehnic "Gh. Asachi" Iași, 1990.
- [5] Baraboi A., Adam M., Ciutea I., Hnatiuc E., Tehnici moderne în comutația de putere, Editura A 92, Iași, 1996.
- [6] Baraboi A., Leonte P., Adam M., Solicitățile echipamentelor electrice, Editura BIT, Iași, 1997.
- [7] Baraboi A., Adam M., Echipamente electrice, vol. I, Ed. „Gh. Asachi”, Iași, 2002.
- [8] Barbu I., Siguranțe electrice de joasă tensiune, Ed. Tehnică București, 1983.
- [9] Hnatiuc E., Leonte P., Furnică E., Adam M., Aparate electrice, Vol. I, Îndrumar de laborator, Universitatea Tehnică "Gh. Asachi" Iași, 1994.
- [10] Hortopan Gh., Aparate electrice. EDP, București, 1980.
- [11] Hortopan Gh., Aparate electrice de comutație. Ed. Tehnică, București, 1993.
- [12] Leonte P., Hnatiuc E., Furnică E., Adam M., Aparate electrice, Vol. II, Îndrumar de laborator, Universitatea Tehnică "Gh. Asachi" Iași, 1993.
- [13] Moldovan L., Vătău D., Aparate electrice, Editura EUROBIT, Timișoara, 1999.
- [14] Pancu C., Baraboi A., Adam M., Echipamente electrice. Solicități. Modelare și simulare numerică, Editura “Politehnum” Iași, 2009.
- [15] Pancu C., Adam M., Baraboi A., Echipamente cu logică programabilă (îndrumar de laborator), Editura “Politehnum” Iași, 2013.
- [16] Suciu I., Bazele calculului solicitărilor termice ale aparatelor electrice. Editura Tehnică, București, 1980.
- [17] Suciu I., Bazele echipamentelor electrice. Editura Facla, Timișoara, 1980.
- [18] Vasilievici A., Aparate și echipamente electrice (Vol I). Editura MS, Sibiu, 1995.
- [19] Vasilievici A., Aparate și echipamente electrice (Vol II). Editura MS, Sibiu, 1996.
- [20] * * *, Releul termic tripolar TA25-DU (carte tehnică), ABB.
- [21] * * *, Releul electronic ZEV (carte tehnică), Moeller.
- [22] * * *, System pro M compact (DIN Rail components for low voltage installation - catalogue), ABB, 2012.
- [23] * * *, Residual current devices (catalogue), Noark, 2011.
- [24] * * *, Circuit breakers and isolators (catalogue), Noark, 2011.
- [25] * * *, Easy 412, Easy 600. User Manual, Moeller GmbH, Bonn, 2000.
- [26] * * *, Easy 800. User Manual, Moeller GmbH, Bonn, 2004.
- [27] * * *, EasySoft v6.0, Moeller.

-
- [28] * * *, Revizia întrerupătoarelor IO și IUP de medie tensiune și a dispozitivelor de acționare aferente (fișă tehnologică). ICEMENERG, București, 1995.
- [29] * * *, HD4, Gas insulated MV circuit-breakers, 12 ... 40.5 kV - 630 ... 3600 A - 16 ... 50 kA (catalogue), ABB, 2009.
- [30] ***, HD4, Installation and service instructions (manual de exploatare), ABB, 2009.
- [31] ***, VD4, Medium voltage vacuum circuit-breakers, 12...36 kV - 630...3150 A - 16...50 kA, (catalog), ABB, 2011.
- [32] ***, VD4, Installation and service instructions (manual de exploatare), ABB, 2011.

Anexa 1

Meniurile interfețelor de reglare, control și comandă ale standurilor

Panourile de comandă ale standurilor prin intermediul tastelor și al afișajului alfa-numeric permit navigarea în meniurile și submeniurile interfețelor de comunicare, comandă și control.

Afișajul alfa-numeric de tip 2x16 caractere asigură o citire ușoară a mesajelor de reglaj, avertizare și informare asupra celor executate.

Utilizatorul este îndrumat să execute o succesiune de operații specifice lucrării de laborator, iar în cazul în care se omite o anumită etapă este atenționat unde s-a greșit și se așteaptă remedierea deficienței. De asemenea, pentru majoritatea comenzilor de stare se cere să se confirme comanda dată, tocmai pentru a nu se crea confuzii sau pentru a nu se executa alte comenzi contradictorii.

În tabelele următoare sunt descrise mesajele meniurilor și submeniurilor interfețelor standurilor.

A. Încălzirea căilor de curent

Meniu / Submeniu		Descriere
	INCALZIREA CONDUCTOARELOR	Mesajul de început al standului pentru STUDIUL ÎNCĂLZIRII CĂILOR CONDUCTOARE
1.	1. REGIMUL ANALIZAT	Prin intermediul acestui meniu se alege regimul de încălzire analizat, ce poate avea una din următoarele variante:
1.1	1.1 REGIM PERMANENT	→ submeniul REGIM PERMANENT prin setarea căruia calea conductoare va fi parcursă de curent pe întreaga durată de încălzire (meniul 3) s-au prin oprire voluntară de către utilizator (meniul 5).
1.1 S	1.1 REGIM PERMANENT *	variantă a submeniului 1.1 la care s-a confirmat regimul ales "REGIM PERMANENT" prin apăsarea tastei OK.
1.2	1.2 REGIM INTERMITENT	↓→ submeniu REGIM INTERMITENT prin care calea conductoare va fi parcursă de curent în regim intermitent. Submeniul are predefiniți timpii de conducție și de pauză de 30 secunde.
1.2 S	1.2 REGIM INTERMITENT *	→ variantă a submeniului 1.2 la care s-a confirmat regimul ales ca "REGIM INTERMITENT". În acest caz submeniul 1.1 se va deselecta automat.

1.2.1	1.2.1 DURATA DE CONDUCTIE	→submeniu ce permite modificarea de către utilizator a duratei de conducție.
1.2o	DURATA CONDUCTIE 30 s *	↓→variantă a submeniului 1.2.1 la care utilizatorul a ales și confirmat prin apăsarea tastei OK durata de conducție de 30 secunde.
1.2.2	1.2.2 DURATA DE PAUZA	↓→ variantă a submeniu 1.2 ce permite modificarea duratei de pauză.
1.2.2o	DURATA DE PAUZA 30 s *	↓→ variantă a submeniului 1.2.2 la care utilizatorul a ales și confirmat prin apăsarea tastei OK durata de pauză de 30 secunde.
2.	2. SELECTARE CURENT	ESC.+ ↓ Prin intermediul meniului "SELECTARE CURENT" se alege curentul care va străbate calea de curent.
2.1	2.1 CURENT 1 A	OK +↓ submeniul setează valoarea curentului la 1 A.
2.2	2.2 CURENT 2 A	ESC +↓ +OK submeniul setează valoarea curentului la 2 A.
2.2 S	2.2 CURENT 2 A *	OK variantă a submeniului 2.2 în care utilizatorul a ales și reglat curentul de 2A.
2.3	2.3 CURENT 3 A	ESC +↓ +OK submeniul setează valoarea curentului la 3 A.
2.4	2.4 CURENT 4 A	ESC +↓ +OK submeniul setează valoarea curentului la 4 A.
2.5	2.5 CURENT 5 A	ESC +↓ +OK submeniul setează valoarea curentului la 5 A.
3.	3. DURATA INCALZIRE	Prin acest meniu se stabilește durata încălzirii, atât pentru regimul permanent cât și pentru regimul intermitent.

	DURATA INCALZIRE 500 s *	Acest meniu are o perioadă predefinită de 500 de secunde, însă această valoare se poate modifica de către utilizator prin intermediul tastelor ↑ și ↓.
4.	4. MARIMI ACHIZITIONATE	ESC +↓ +OK prin accesarea acestui meniu se lansează reglarea curentului la valoarea stabilită în submeniul 2.2 S.
	SE REGLEAZA CURENTUL	Mesaj afișat atât timp cât sistemul de control reglează curentul prin calea conductoare la valoarea stabilită anterior.
	t[s] I[A] T[°C] 10 2,09 24,9	Afișarea mărimilor achiziționate.
5.	5. TERMINARE LUCRARE	Meniu prin accesarea căruia experimentul se încheie. Acest mesaj apare: - fie la terminarea duratei programate; - fie la dorința utilizatorului prin tastare ESC +↓ +OK.
5.1	SE ANULEAZA CURENTUL	Mesajul va fi afișat atâta timp cât durează aducerea la zero a cursorului autotransformatorului ca o consecință a terminării lucrării.
	DECONNECTATI STANDUL	După anularea tensiunii mesajul indică utilizatorului faptul că poate deconecta standul.

B. Contacte electrice

Meniu / Submeniu		Descriere
	CONTACTE ELECTRICE	Mesajul de început al standului pentru studiul contactelor electrice.
1.	1. NUMAR PUNCTE ACHIZITIONATE	Prin intermediul acestui meniu se alege: numărul punctelor achiziționate, alegerea numărului de puncte se face cu ajutorul săgeților sus-jos.
	NUMAR PUNCTE 20	↓→Variantă a submeniului 1 la care utilizatorul a ales și confirmat prin apăsarea tastei OK numărul de puncte dorit.
	NUMAR PUNCTE 20 *	→Variantă a submeniului anterior la care s-a confirmat numărul de puncte prin apăsarea tastei OK.

2.	2. MARIMI ACHIZITIONATE	→Prin confirmarea acestui meniu se va regla tensiunea și se vor afișa mărimile achiziționate.
	SE REGLEAZA TENSIUNEA	Mesajul va fi afișat atât timp cât durează reglarea tensiunii.
	F[N] U1[V] U2[V] 5,32 0,006 0,130	Mesaj cu afișarea mărimilor achiziționate.
	SE ANULEAZA TENSIUNEA	Mesajul va fi afișat atât timp cât durează anularea tensiunii, ca o consecință a terminării procesului.
3.	3. TERMINARE LUCRARE	Meniu prin accesarea căruia experimentul se încheie. Acest mesaj apare la terminarea duratei programate.
	DECONECTATI STANDUL	După anularea tensiunii, mesajul indică utilizatorului faptul că poate deconecta standul.

C. Studiul siguranțelor fuzibile

Meniu / Submeniu		Descriere
	SIGURANTE FUZIBILE	Mesajul de început al standului pentru studiul siguranțelor fuzibile.
	INITIALIZARE ATR ...	Mesaj de atenționare în cazul în care standul a fost deconectat, la o determinare anterioară, fără a se da comanda „TERMINARE LUCRARE”. Astfel, autotransformatorul se va aduce la poziția 0.
1.	1. NUMAR PUNCTE ACHIZITIONATE	Submeniu ce permite alegerea numărului punctelor achiziționate. Pentru confirmare se apasă tasta OK.
1.1	NUMAR PUNCTE 15	↓→Variantă a submeniului 1 prin care utilizatorul a ales numărul de puncte dorite (15 puncte). Alegerea se face cu ajutorul săgeților sus-jos.
1.1S	NUMAR PUNCTE 15 *	→Variantă a submeniului anterior la care a fost confirmat numărul de puncte prin apăsarea tastei OK.
2.	2. CURENTUL DE FUZIUNE	Prin intermediul acestui submeniu se alege valoarea curentului minim de fuziune. Pentru confirmare se apasă tasta OK.

2.1	I_f MINIM 10	↓→ Variantă a submeniului 2 prin care se setează valoarea curentului minim de fuziune. Alegerea se face cu ajutorul săgeților sus-jos.
2.1S	I_f MINIM 10 *	Variantă a submeniului 2.1 în care utilizatorul a confirmat curentul minim de fuziune de 10 A, prin apăsarea tastei OK.
3.	3. MARIMI ACHIZITIONATE	Acest submeniu dă startul achiziționării curentului și timpului. Pentru confirmare se apasă tasta OK.
3.1	CURENTUL NR. 1 INCERCAREA NR. 1	Variantă a submeniului 3 prin care se precizează numărul încercării 1 la prima valoare a curentului. Se execută trei încercări pentru fiecare valoare a curentului.
3.2	SE REGLEAZA CURENTUL	Mesaj afișat atât timp cât sistemul de control reglează curentul în funcție de curentul minim de fuziune ales.
3.3	ATI INTRODUS SIGURANTA?	Mesaj de interogare a prezenței siguranței în soclu. Pentru confirmare se apasă tasta OK.
3.4	EXECUTATI TESTUL?	Mesaj de interogare privind posibilitatea executării testului. Pentru confirmare se apasă tasta OK.
3.5	SE EXECUTA TESTUL ...	Mesajul este afișat pe durata trecerii curentului prin siguranța fuzibilă.
3.6	Pct, I[A] t[ms] 1.1 30,6 4130	Afișarea mărimilor achiziționate. Pentru trecerea la o nouă încercare se apasă tasta OK.
3.7	PROTECTIE ACTIVATA!	Mesaj de avertizare în cazul în care timpul de funcționare al siguranței fuzibile a depășit o valoare prestabilită (pentru protecția standului).
4.	4. TERMINARE LUCRARE	Submeniu ce indică faptul că procesul de verificare al siguranței fuzibile s-a încheiat. Pentru confirmare se apasă tasta OK.
4.1	INITIALIZARE ATR ...	Mesajul afișat atâta timp cât durează aducerea la zero a cursorului autotransformatorului.
4.2	DECONECTATI STANDUL	Mesajul indică utilizatorului faptul că poate deconecta standul cu ajutorul întrerupătorului de pe panoul frontal.

D. Descărcătoare electrice

	Meniu / Submeniu	Descriere
	DESCARCATOARE ELECTRICE	Mesajul de întâmpinare la pornirea standului.
1.	1. DISCUL ANALIZAT	Prin intermediul acestui meniu se alege tipul discului analizat.
1.1	1.1 DISC ZnO	Submeniul permite selectarea discului din ZnO. Validarea se realizează prin aprinderea LED-ului de semnalizare corespunzător, în schema electrică existentă pe stand.
1.1 *	1.1 DISC ZnO *	Confirmarea alegerii discului din ZnO se va face prin apăsarea tastei OK.
1.2	1.2 DISC SiC	Submeniul permite selectarea discului din SiC. Validarea se realizează prin aprinderea LED-ului de semnalizare corespunzător, în schema electrică existentă pe stand.
	NU ATI SELECTAT DISCUL	Mesaj de avertizare care atenționează utilizatorul că nu a selectat discul ce urmează a fi verificat, nepermițând trecerea la meniul următor.
2	2. NUMAR PUNCTE ACHIZITIONATE	Prin intermediul acestui meniu se realizează alegerea numărului de puncte în care se va face achiziția valorilor curentului și tensiunii. Pentru confirmare se apasă tasta OK.
	NUMAR PUNCTE 10	Numărul minim de puncte în care se poate face achiziția mărimilor electrice.
	NUMAR PUNCTE 20	Numărul maxim de puncte în care se poate face achiziția mărimilor electrice.
3.	3. MARIMI ACHIZITIONATE	Acest meniu dă startul achiziționării curentului și tensiunii. Pentru confirmare se apasă tasta OK.
	SE REGLEAZA TENSIUNEA	Odată confirmată alegerea meniului 3 începe reglarea tensiunii prin reglarea cursorului autotransformatorului.

	Pct, U[V] I[mA] 04 367 5,55	Mesaj cu afișarea valorilor mărimilor achiziționate. Pentru a trece la un nou punct de măsură se apasă tasta OK.
	SE RESETEAZA ATR-UL	În cazul în care printr-un eveniment neprevăzut se întrerupe tensiunea de alimentare a standului, autotransformatorul se resetează automat la 0.
	ATR RESETAT	Mesaj de confirmare a aducerii cursorului autotransformatorului la 0.
4.	4. TERMINARE LUCRARE	Dacă dorim să oprim alimentarea standului după achiziționarea datelor vom accesa meniul 4, confirmând alegerea cu tasta OK.
	DECONECTATI STANDUL	După anularea tensiunii, mesajul indică utilizatorului faptul că poate deconecta standul de la butonul de pe panoul frontal.

E. Relee de timp

Meniu / Submeniu		Descriere
	VERIFICAREA RELEELOR DE TIMP	Mesaj de început al standului pentru verificarea releelor de timp.
1.	1. TIPUL RELEULUI	Meniu ce permite alegerea tipul releului de timp ce urmează a fi verificat.
1.1	1.1 RELEU DE TIP RTpa5	Submeniu ce permite selectarea releului de timp de tip RTpa5. Validarea se confirmă prin aprinderea LED-ului de semnalizare corespunzător, existent pe stand.
1.2	1.2 RELEU DE TIP RTpr5	Submeniu ce permite selectarea releului de timp de tip RTpr5.
1.3	1.3 RELEU DE TIP RTpa7	Submeniu ce permite selectarea releului de timp de tip RTpa7.
1.4	1.3 RELEU DE TIP RTpa7	Submeniu ce permite selectarea releului de timp de tip RTpr7.

1.5	1.5 RELEU DE TIP MET	Submeniu ce permite selectarea releului de timp de tip MET.
1.6	1.6 ALT RELEU RTpa	Submeniu ce permite verificarea oricărui alt releu de timp având contactul cu temporizare la acționare.
1.7	1.7 ALT RELEU RTpr	Submeniu ce permite verificarea oricărui alt releu de timp având contactul cu temporizare la revenire.
	NU ATI SELECTAT RELEUL!	Mesaj de avertizare ce atenționează utilizatorul că nu a selectat releul ce urmează a fi verificat și nu permite trecerea la meniul următor.
2.	2. REGLAJ TENSIUNE	Meniu ce permite reglajul tensiunii în concordanță cu tensiunea de alimentare a releului de timp ce urmează a fi verificat. Pentru confirmare se apasă butonul OK.
2.1	REGLATI MANUAL TENSIUNEA	Mesajul indică faptul că reglajul tensiunii se va realiza manual prin acționarea butoanelor de comandă.
2.2	CREȘTERE TENSIUNE	Prin intermediul butonului SUS se poate crește tensiunea. Valoarea reglată va fi citită pe voltmetrul existent pe panoul frontal al standului.
2.3	DESCREȘTERE TENSIUNE	Prin intermediul butonului JOS se poate descrește tensiunea. Valoarea reglată va fi citită pe voltmetrul existent pe panoul frontal al standului.
	NU ATI REGLAT TENSIUNEA	Mesaj de avertizare ce atenționează utilizatorul că nu s-a reglat tensiunea și nu se permite trecerea la meniul următor.
3.	3. VERIFICARE RELEU	Prin intermediul acestui meniu se verifică temporizarea releului studiat. Pentru confirmare se apasă butonul OK.
	Timpul 2	Prin apăsarea butonului START de pe panoul de comandă al standului se permite alimentarea bobinei releului, pe afișor fiind scris timpul ce urmează a fi măsurat.
	Timpul 2 3495 ms	După temporizarea la acționare/revenire se va afișa durata exprimată în milisecunde.

4.	4. TERMINARE LUCRARE	Meniu ce indică faptul că procesul de verificare al releului s-a încheiat.
	SE ANULEAZA TENSIUNEA ...	Mesajul va fi afișat atâta timp cât durează anularea tensiunii.
	DECONECTATI STANDUL	Mesajul indică utilizatorului faptul că poate deconecta standul.

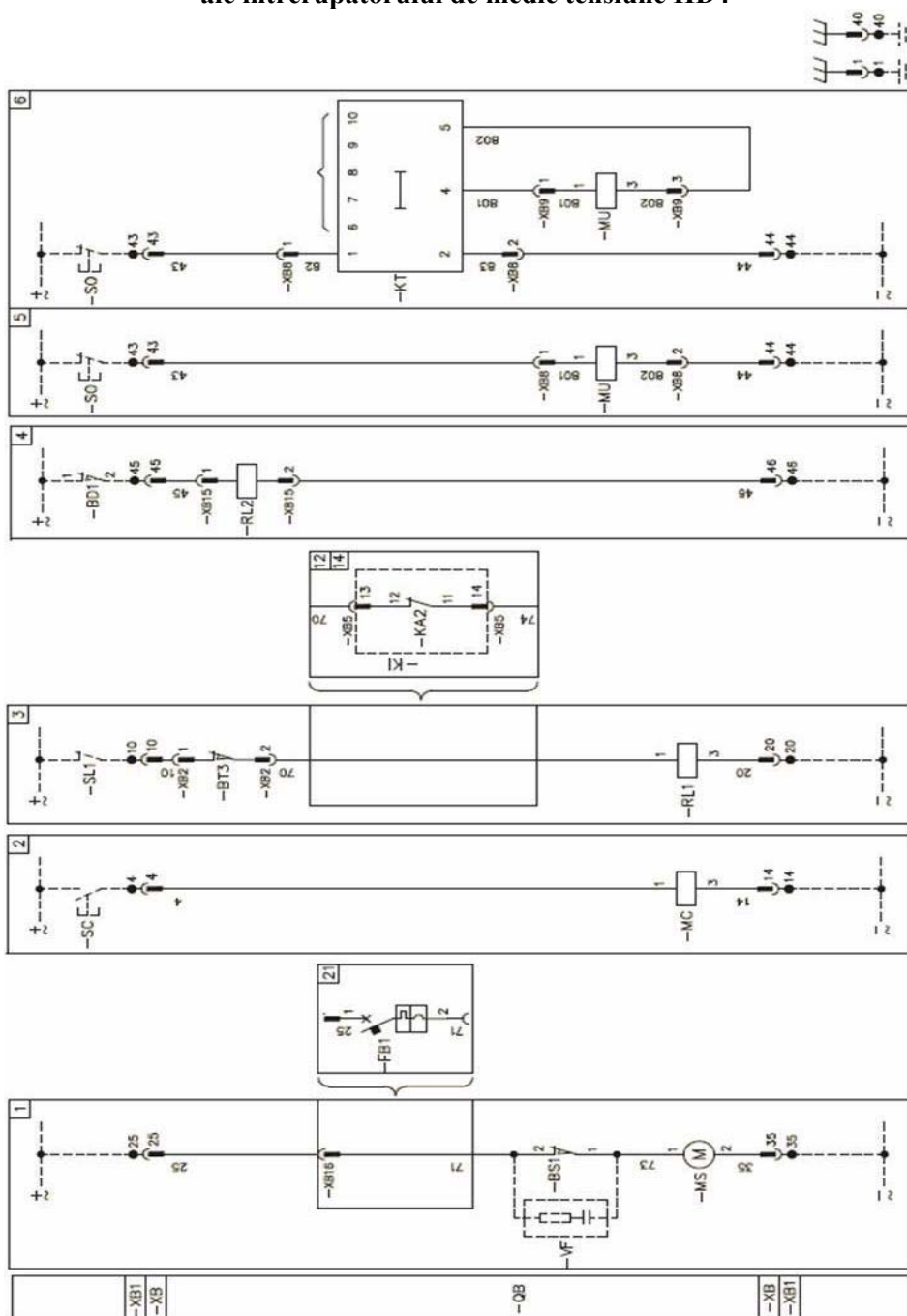
Parametri termofizici de material

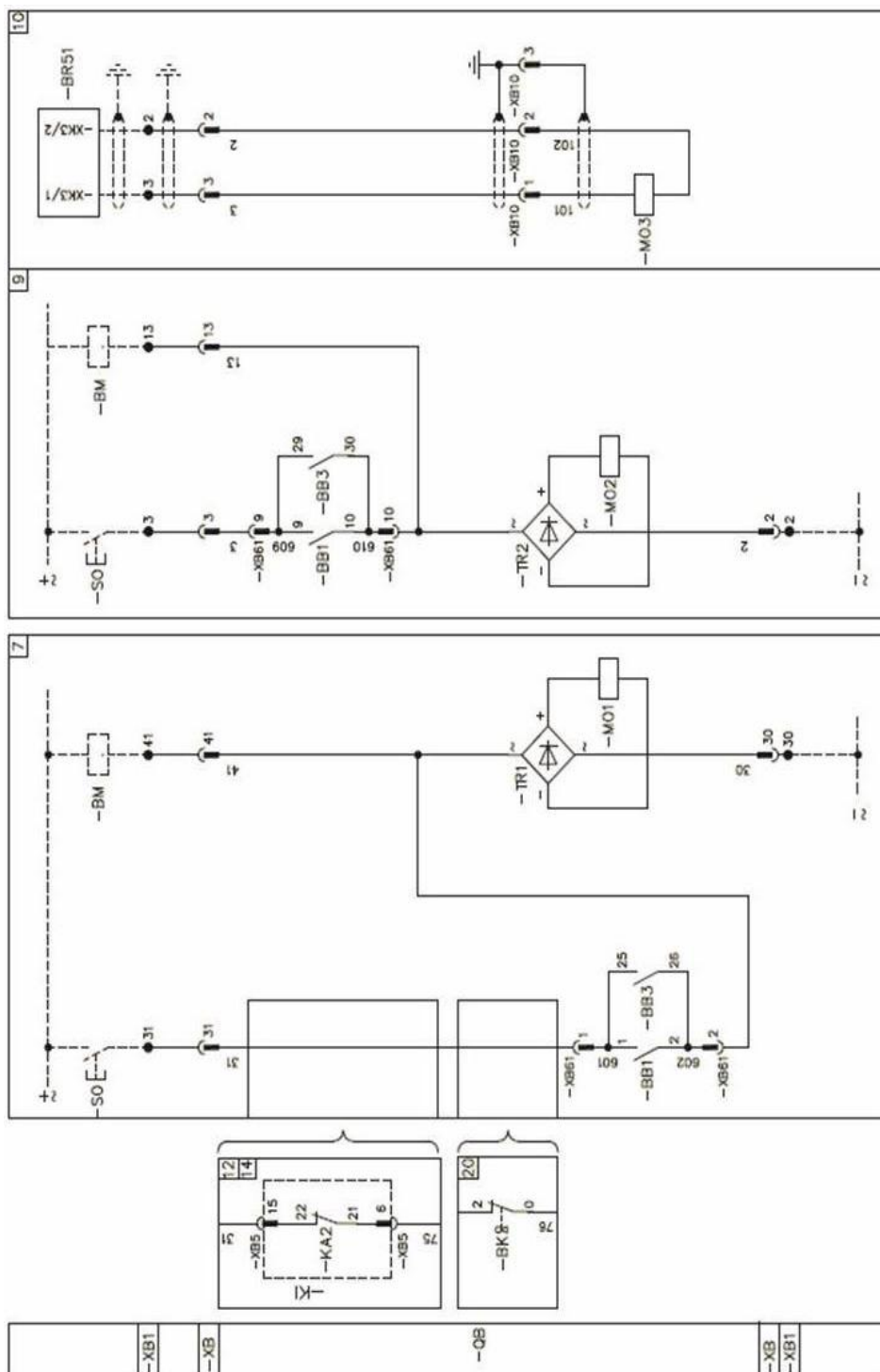
Materialul conductor	γ $\times 10^3$ [kg/m ³]	ρ (la 0 °C) $\times 10^{-8}$ [Ωm]	α_R $\times 10^{-3}$ [grad ⁻¹]	λ [W/m·grad]	c [J/kg·grad]	β $\times 10^{-5}$ [grad ⁻¹]	θ_f [°C]	θ_v [°C]	H $\times 10^7$ [N/m ²]	σ_p $\times 10^6$ [N/m ²]
Alamă	8,5	7	1,5	100	380	11	900	-	95-130	392-588
Aluminiu	2,7	2,6	4,2	210	950	47	660	1800	26,4	130
Argint	10,5	1,5	4	420	234	7,7	960	1955	29,4-58,9	310
Cositor	7,28	12,1	4,5	64	226	-	232	-	12	28
Crom	7,7	14	5,2	60	430	-	1800	2200	88,3-127,5	-
Cupru	8,9	1,6	4,3	393	387	10	1083	2600	107,9-127,5	390-520
Grafit	1,8	7-14	-1,3	160	650-850	350	-	3650	11,8-19,6	6,8-9,8
Oțel	7,8	10-13	9	40	470	73	1300-1400	-	98,1-196,2	392-588
Plumb	11,3	19,5	4,1	35	130	9	327	1540	3,92	20,6
Staniu	7,3	11	4,5	64	230	13	232	2270	3,92-4,9	13,7-19,6
Wolfram	19,3	5,1	4,2	170	140	3	3410	5900	196,2-343,3	981-2943

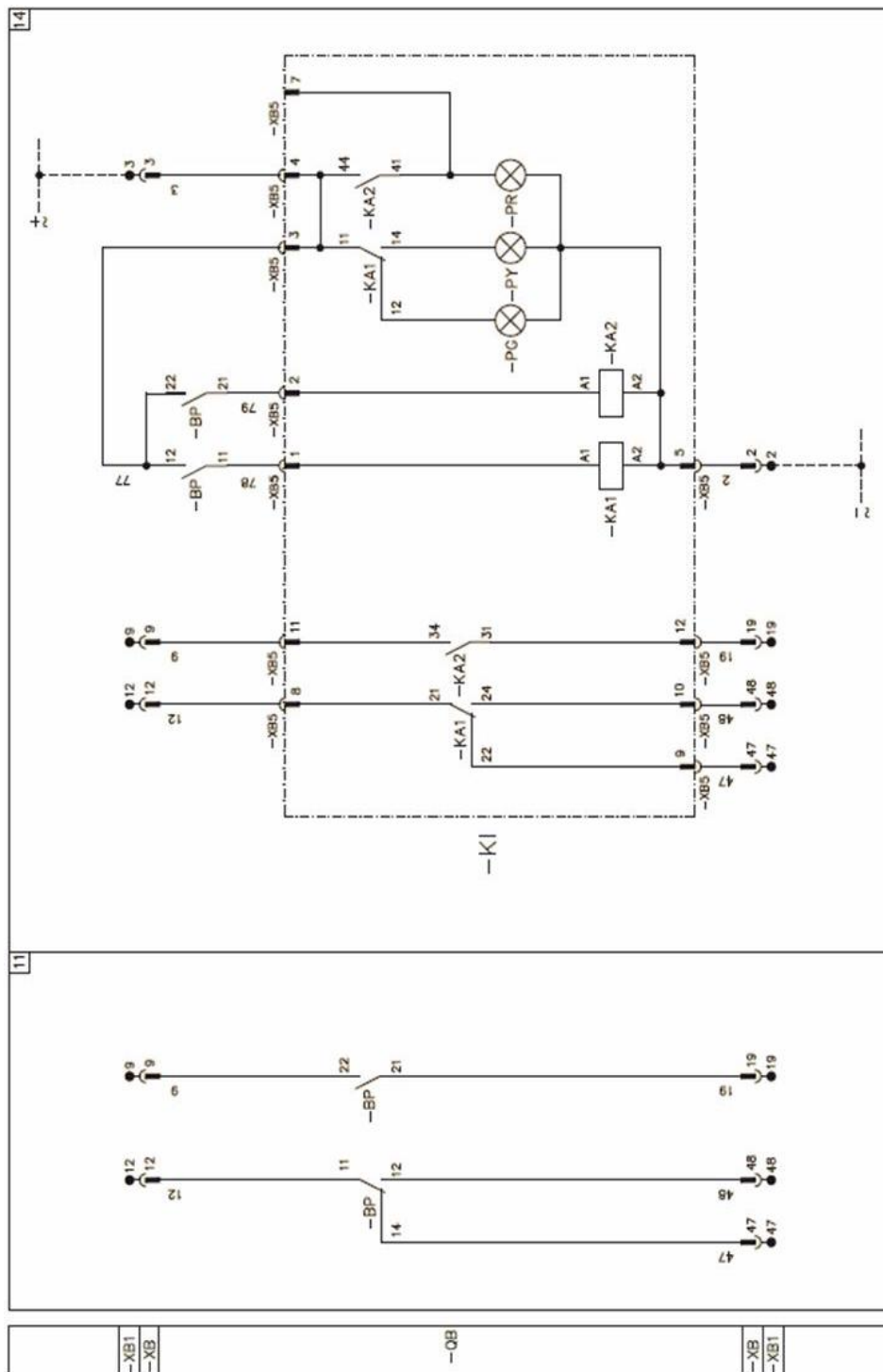
Notații: γ - densitatea, [kg/m³]; ρ - rezistivitatea, [Ωm]; α_R - coeficientul termic al rezistivității, [grad⁻¹]; λ - conductivitatea termică, [W/m·grad]; c - căldura specifică, [J/kg·grad]; β - coeficientul termic al căldurii specifice, [grad⁻¹]; θ_f - temperatura de topire, [°C]; θ_v - temperatura de vaporizare, [°C]; H - duritatea, [N/m²]; σ_p - rezistența la strivire, [N/m²].

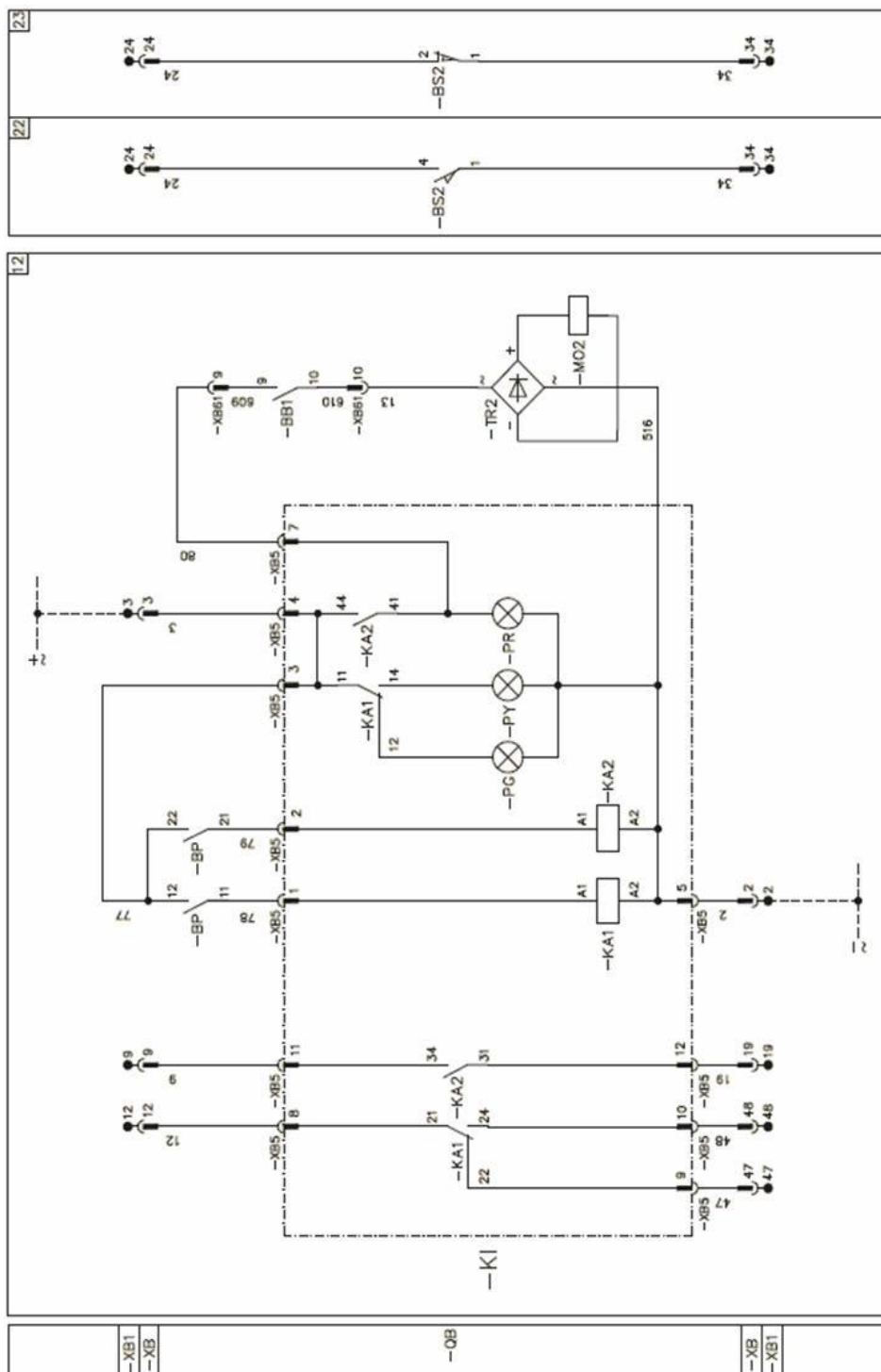
Anexa 3

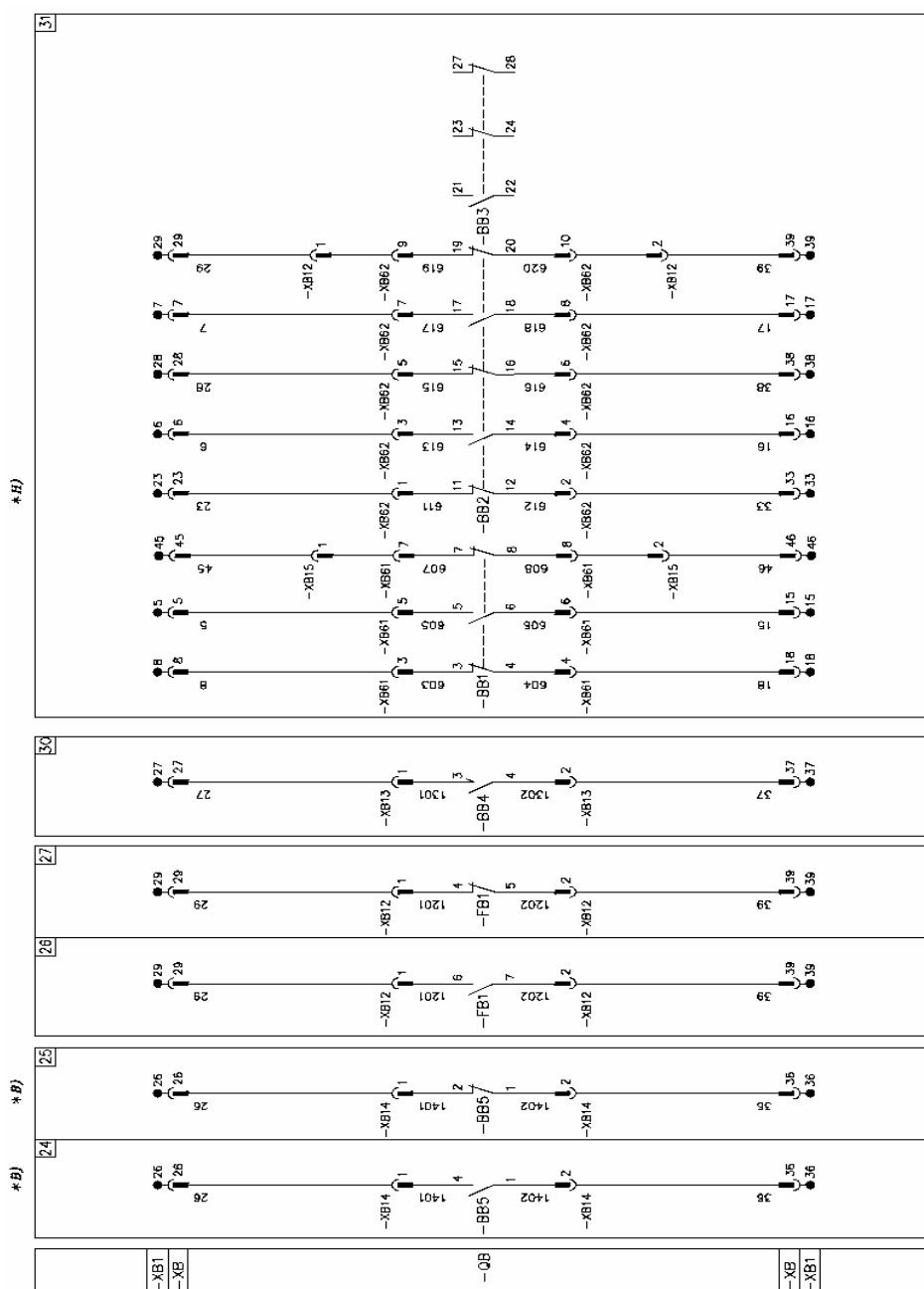
Scheme electrice de control, comandă și semnalizare ale întrerupătorului de medie tensiune HD4

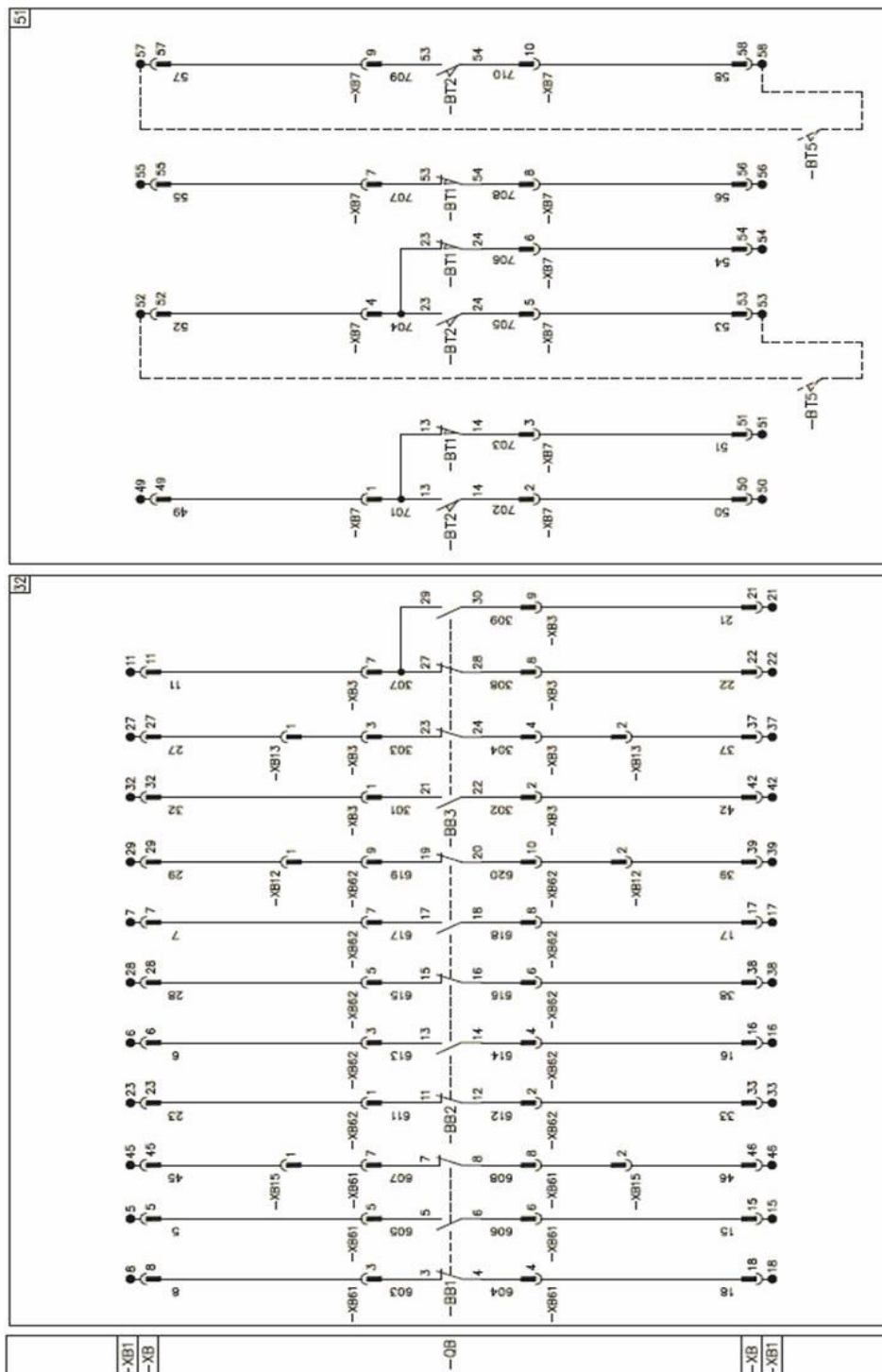












Notă: Schemele sunt reprezentate în condițiile următoare:

- întrerupătorul este broșat și se află în poziția deschis;
- circuitele de control/comandă/semnalizare sunt nealimentate;
- resortul de închidere este nearmat;
- presiunea gazului se găsește în limite normale (380 kPa).

Semnificațiile notațiilor din schemele electrice ale întrerupătorului de medie tensiune HD4:

- BM, dispozitiv pentru controlul continuu al continuității bobinei electromagnetului de declanșare;
- BP, comutatorul de presiune cu două praguri de intervenție:
 - la presiunea scăzută a gazului. Contactele KA1 din blocul KI își schimbă poziția când presiunea gazului scade și atinge valoarea de 310 kPa (valoarea normală fiind 380 kPa). Contactele revin la poziția inițială când presiunea crește peste valoarea de 340 kPa;
 - la presiunea insuficientă a gazului. Contactele KA2 din blocul KI își schimbă poziția când presiunea gazului scade și atinge valoarea de 280 kPa. Contactele revin la poziția inițială când presiunea crește peste valoarea de 310 kPa;
- KT, dispozitiv de temporizare electronic pentru declanșatorul de minimă tensiune;
- KI, bloc integrat pentru controlul presiunii, cuprinde:
 - PG, lampa verde pentru indicarea presiunii normale a gazului;
 - PY, lampa galbenă pentru indicarea presiunii scăzute a gazului;
 - PR, lampa roșie pentru indicarea presiunii insuficiente a gazului;
 - KA1, releu auxiliar conectat la comutatorul de presiune BP pe contactul (bornele 11-12 ale BP) care sesizează pragul presiunii scăzute;
 - KA2, releu auxiliar conectat la comutatorul de presiune BP pe contactul (bornele 21-22 ale BP) care sesizează pragul presiunii insuficiente;
 - XB5, conector;
- BR51, releu maximal de curent cu microprocesor;
- MS, motor pentru armarea resortului de închidere;
- QB, întrerupător principal;
- BB1, BB2, BB3, blocuri de contacte auxiliare;
- BB4, contact pasager (de trecere) auxiliar (cu închidere pe durata deschiderii întrerupătorului);
- BB5, contacte pentru semnalizarea funcționării declanșatorului de minimă tensiune;
- FB1, întrerupător pentru protecția motorului de armare a resortului;
- BD1, contact de poziție pentru ușa celei;
- BS1, BS2, contacte limitatoare ale motorului de armare a resortului;
- BT3, contact de poziție a întrerupătorului, care este deschis dacă întrerupătorul nu este conectat;

- BT5, contacte de poziție pentru semnalizarea poziției corecte în celulă;
- BT1, contacte de semnalizare a poziției conectat (broșat) a întrerupătorului;
- BT2, contacte de semnalizare a poziției deconectat (debroșat) a întrerupătorului;
- SC, buton de închidere a întrerupătorului;
- BK, contact acționat de cheia de blocare, prevenind deschiderea electrică a întrerupătorului;
- SL1, contact pentru blocare închiderii întrerupătorului;
- SO, buton pentru deschiderea întrerupătorului;
- TR1, TR2, punți redresoare pentru alimentarea electromagneților MO1, MO2;
- XB-XB1, conector pentru circuitul întrerupătorului;
- XB2.. XB62, conectori;
- MC, electromagnet de anclanșare;
- RL1, electromagnet de blocare a mecanismului de acționare (dacă este nealimentat, previne mecanic închiderea întrerupătorului);
- RL2, electromagnet de blocare pentru cărucior (dacă este nealimentat, previne mecanic extragerea întrerupătorului);
- MO1, electromagnet de declanșare;
- MO2, electromagnet de declanșare suplimentar;
- MO3, electromagnet de deschidere, comandat prin blocul BR51, cu microprocesor;
- MU, declanșator de minimă tensiune cu declanșare instantanee sau cu dispozitiv de temporizare electronic;
- VF, filtru pentru cazul în care tensiunea operativă este continuă.

Semnificația circuitelor electrice:

- 1- Circuitul motorului pentru armarea resortului de închidere;
- 2- Electromagnetul de anclanșare (închidere);
- 3- Circuitul electromagnetului de blocare a mecanismului de acționare;
- 4- Electromagnet de blocare, pentru cărucior;
- 5, 6- Circuitul declanșatorului de minimă tensiune cu declanșare instantanee (5) sau cu dispozitiv de temporizare electronic (6);
- 7- Circuitul electromagnetului de declanșare, cu posibilitatea controlului continuu al bobinei acestuia;
- 9- Circuitul electromagnetului de declanșare suplimentar;
- 10- Circuitul bobinei de deschidere cu microprocesor;
- 11, 12, 14- Circuite pentru controlul presiunii gazului;
- 20- Circuitul contactului acționat de cheia de blocare;
- 21- Circuitul întrerupătorului pentru protecția motorului de armare a resortului;

22, 23- Contacte de semnalizare armarea/nearmarea resortului de închidere;

24, 25- Contacte pentru semnalizarea funcționării declanșatorului de minimă tensiune;

26, 27- Contacte de semnalizare a deconectării prin protecție a motorului de armare.

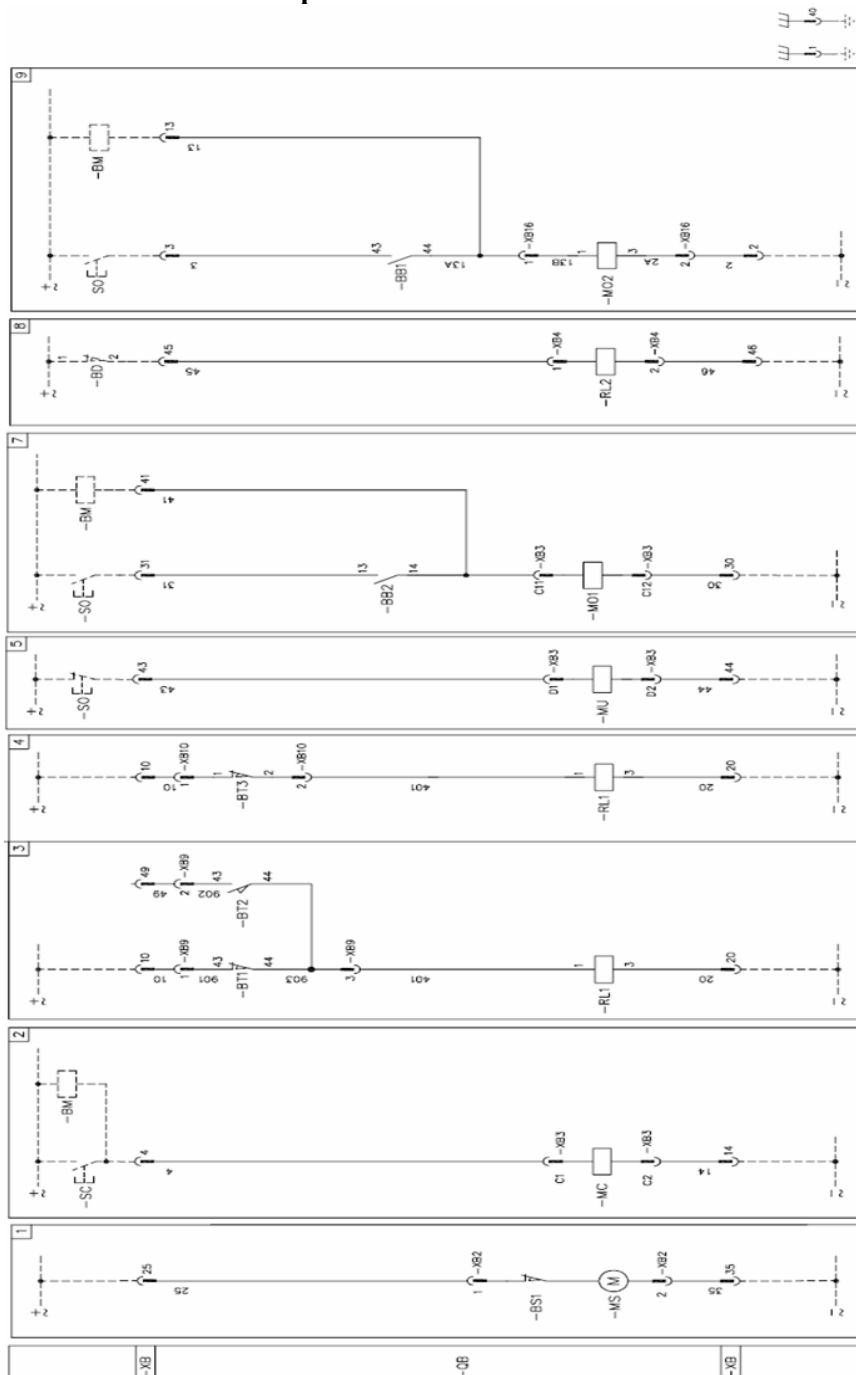
30- Contact auxiliar pasager cu închidere pe durata deschiderii întrerupătorului;

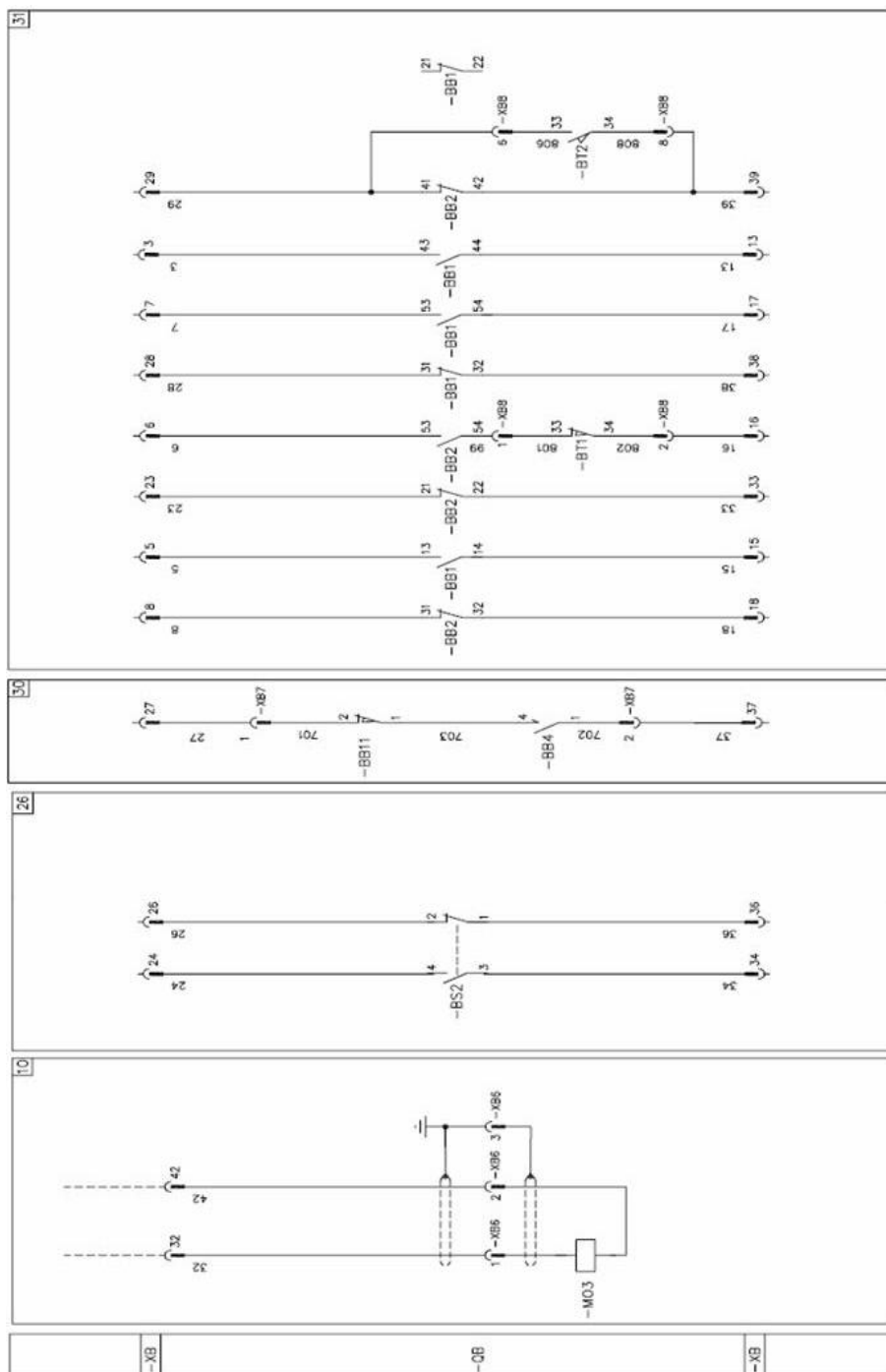
31, 32- Contactele auxiliare ale întrerupătorului;

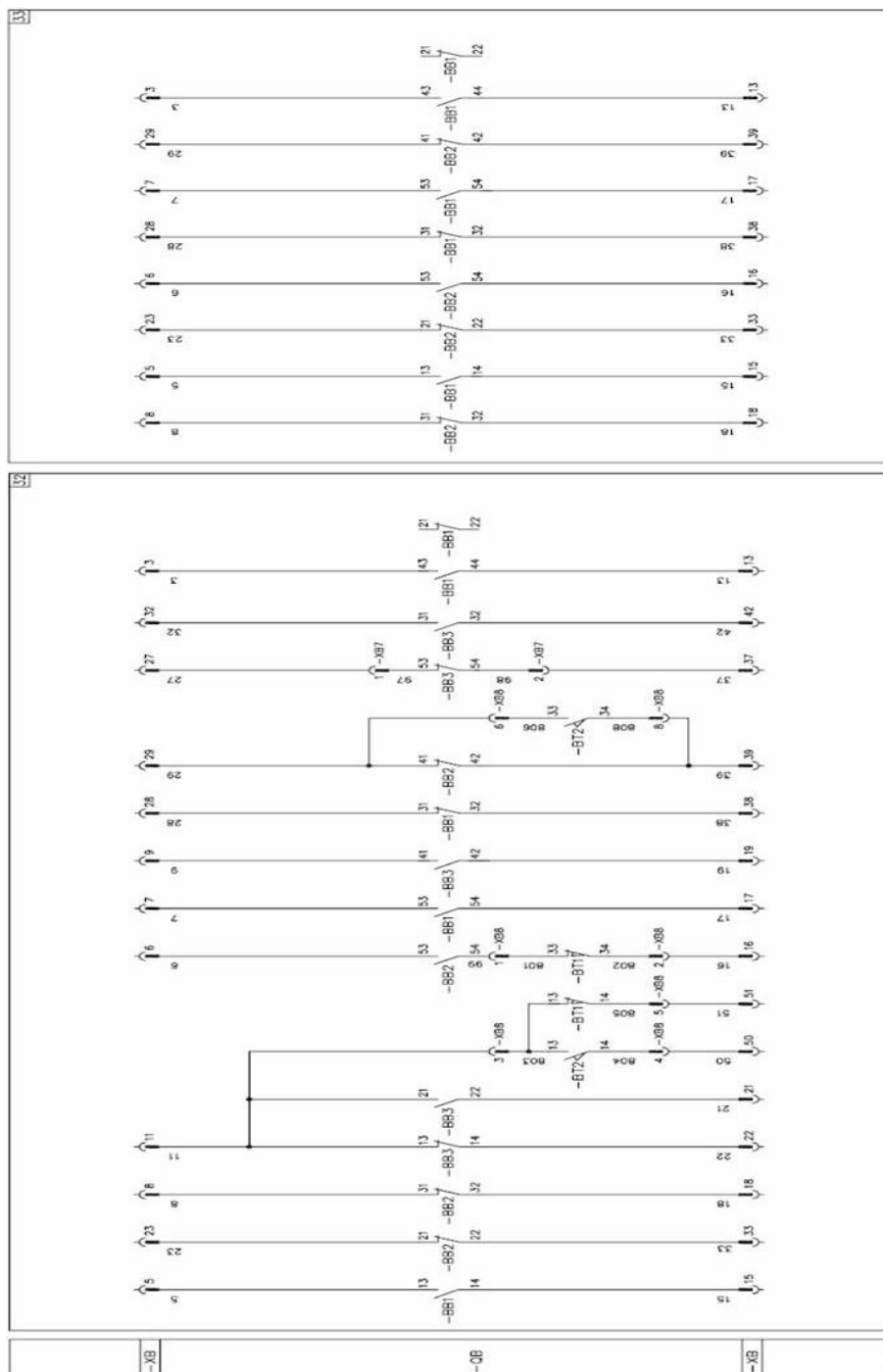
51- Contacte pentru semnalizarea poziției broșat/debroșat a întrerupătorului.

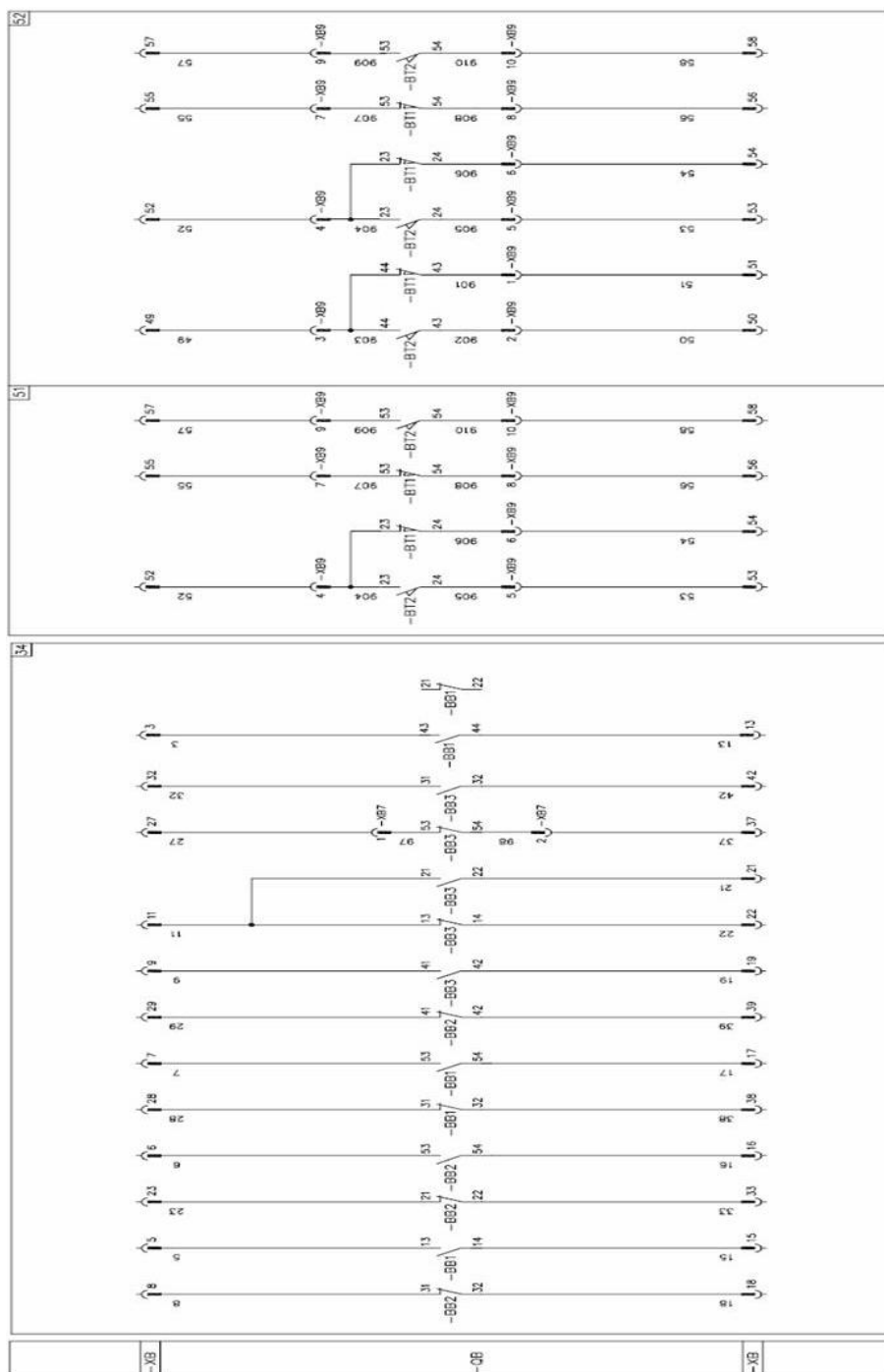
Anexa 4

Scheme electrice de control, comandă și semnalizare ale întrerupătorului de medie tensiune VD4









Notă: Schemele sunt reprezentate în condițiile următoare:

- întrerupătorul este broșat și se află în poziția deschis;
- circuitele de control/comandă/semnalizare sunt nealimentate;
- resortul de închidere este nearmat.

Semnificațiile notațiilor din schemele electrice ale întrerupătorului de medie tensiune VD4:

- BB1, BB2, BB3, blocuri de contacte auxiliare întrerupător;
- BB4, contact pasager (de trecere) auxiliar (cu închidere momentană pe durata deschiderii întrerupătorului);
- BB11, contact pentru întreruperea contactului BB4, pe durata operației de deschidere manuală;
- BD, contact de poziție pentru ușa celulei;
- BM, dispozitiv pentru controlul continuu al continuității bobinelor electromagneților de anclanșare/declanșare;
- BS1, contacte limitatoare ale motorului de armare a resortului;
- BS2, contact limitator pentru semnalizarea armării/nearmării resortului de închidere;
- BT1, contacte de semnalizare a poziției conectat (broșat) a întrerupătorului;
- BT2, contacte de semnalizare a poziției deconectat (debroșat) a întrerupătorului;
- BT3, contact de poziție a întrerupătorului, care este deschis dacă întrerupătorul nu este conectat;
- MO1, electromagnet de declanșare;
- MO2, electromagnet de declanșare suplimentar;
- MO3, electromagnet de deschidere pentru declanșarea de la distanță a întrerupătorului;
- MC, electromagnet de anclanșare;
- MS, motor pentru armarea resortului de închidere;
- MU, declanșator de minimă tensiune;
- QB, accesorii ale întrerupătorului (cleme de racord);
- RL1, electromagnet de blocare a întrerupătorului (dacă este nealimentat, previne mecanic închiderea întrerupătorului);
- RL2, electromagnet de blocare pentru cărucior (dacă este nealimentat, previne mecanic extragerea întrerupătorului);
- SC, buton pentru închidere a întrerupătorului;
- SO, buton pentru deschiderea întrerupătorului;
- XB, conector pentru circuitul întrerupătorului;
- XB2.. 16, conectori.

Semnificația circuitelor electrice:

- 1- Circuitul motorului de armare a resortului de închidere;
- 2- Electromagnetul de anclanșare (închidere);
- 3- Circuitul electromagnetului de blocare a mecanismului de acționare;
- 4- Electromagnet de blocare al întrerupătorului;
- 5- Circuitul declanșatorului de minimă tensiune;
- 7- Circuitul electromagnetului de declanșare, cu posibilitatea controlului continuu al bobinei acestuia;
- 8- Electromagnet de blocare pentru cărucior;
- 9- Circuitul electromagnetului de declanșare suplimentar;
- 10- Circuitul bobinei de deschidere de la distanță;
- 26- Contacte de semnalizare armarea/nearmarea resortului de închidere;
- 30- Contact auxiliar pasager, cu închidere momentană pe durata deschiderii întrerupătorului;
- 31, ... 34- Contactele auxiliare ale întrerupătorului;
- 51, 52- Contacte pentru semnalizarea poziției broșat/debroșat a întrerupătorului.

Reguli generale de lucru și norme de tehnica securității în laborator

În cadrul activității din laborator, pericolul principal este cel de electrocutare; la lucrările de verificare a echipamentelor electrice de comutație pot surveni însă și accidente cu cauze de natură mecanică și termică. Pentru evitarea pericolelor și prevenirea accidentării sunt necesare cunoașterea și respectarea întocmai a regulilor de lucru și a normelor de tehnica securității, specifice laboratorului de Echipamente Electrice.

Alimentarea instalațiilor sau a montajelor executate pentru efectuarea lucrărilor se face de la tablourile de distribuție sau de la standurile de lucru, fiecare din acestea fiind prevăzute cu separator tripolar cu pârghie. Toate tablourile sunt alimentate în c.a. cu tensiunea trifazată de 400 V. La lucrările în care se utilizează c.c., acesta se obține prin redresare.

În toate sălile de laborator există câte o celulă de distribuție (tablou general) cu separator, din care sunt alimentate, prin intermediul siguranțelor fuzibile, standurile de lucru și tablourile. De regulă, închiderea separatorului celei de distribuție se face de către cadrul didactic îndrumător la începutul lucrărilor, iar deschiderea, la terminarea acestora. Pentru evitarea unui accident, deschiderea separatorului poate fi efectuată și de către o altă persoană aflată în apropiere.

Pe parcursul lucrării, următoarele reguli generale și norme de tehnica securității sunt obligatorii:

1. Studenții trebuie să cunoască temeinic elementele teoretice și experimentale ale lucrării, astfel încât să se evite efectuarea unor montaje greșite, care pot provoca accidente.
2. Instrumentele de măsură, aparatele de reglaj și echipamentele încercate vor fi dispuse în ordine, astfel încât să fie posibilă citirea și manevrarea comodă a reglajelor.
Este de dorit ca rezistoarele și autotransformatoarele reglabile să fie cât mai aproape de marginea mesei de lucru, pentru a se evita atingerea accidentală a unor părți sub tensiune în timpul reglajelor.
3. Realizarea conexiunilor electrice trebuie făcută cu conductoare având secțiunea corespunzătoare curenților pe care trebuie să-i suporte. Este interzisă dispunerea dezordonată a conductoarelor de legătură, care face dificilă urmărirea montajului în timpul lucrării. Realizarea oricărui montaj trebuie să fie cât mai simplă și clară.
4. Legăturile dintre conductoare și bornele echipamentelor trebuie să asigure un contact bun; o conexiune slab făcută se poate desface, provocând accidente.

5. Efectuarea montajului pentru încercări se încheie cu conexiunile la sursa de energie; la terminarea lucrării, după întreruperea tensiunii de alimentare, acestea se desfac primele.
Deoarece înfășurările autotransformatoarelor nu sunt separate galvanic, pentru prevenirea electrocutării, este necesară întreruperea vizibilă a înfășurării primare, aducerea cursorului la zero nefiind suficientă.
6. Este interzisă punerea sub tensiune a instalației fără ca aceasta să fi fost verificată și aprobată de conducătorul lucrării.
Interdicția se extinde și asupra unei instalații verificate, dar care a fost modificată ulterior.
Nerespectarea acestei prevederi duce la eliminarea studenților de la lucrare, cărora li se vor imputa și eventualele deteriorări aduse aparaturii.
7. Se interzice efectuarea oricăror modificări (conexiuni, amplasare de aparate etc.) sau remedieri cu instalația sub tensiune.
8. Studentul care efectuează punerea sub tensiune are obligația să avertizeze în prealabil despre acest lucru pe ceilalți colegi de la lucrare.
9. În timpul lucrului nu este permisă atingerea bornelor și a celorlalte părți aflate sub tensiune în montaj. Manevrarea aparatelor se va face dintr-o poziție comodă, fără a ține în mână alte obiecte (instrumente de scris, șurubelniță etc.).
10. Este interzisă modificarea montajelor și instalațiilor aflate sub tensiune. Orice modificare se va face după deschiderea separatorului principal de tablou, scoaterea din priză a montajului și după deconectarea vizibilă a acestuia de la rețea (v. și punctul 5). Este necesar să se acorde o mare atenție pozițiilor închis-deschis ale separatoarelor protejate cu capac de bachelită, care nu realizează o întrerupere vizibilă a circuitelor.
11. Instalațiile aflate sub tensiune vor fi în permanență supravegheate. Orice părăsire a locului de lucru cu lăsarea montajului sub tensiune este interzisă.
12. Pe masa de lucru se vor afla numai aparatele și conductoarele strict necesare. Orice obiect care nu este necesar pentru lucrare va fi îndepărtat.
13. Nu se vor conecta înfășurările primare ale transformatoarelor de curent fără a conecta în prealabil și sarcina secundară corespunzătoare. Înfășurările secundare nefolosite ale transformatoarelor de curent conectate în instalații vor fi scurtcircuitate.
14. La observarea unei funcționări incorecte sau la apariția oricărui defect electric sau de altă natură, instalația va fi scoasă de sub tensiune și va fi anunțat conducătorul lucrării.
15. Este interzisă lăsarea sub tensiune a instalațiilor pe durata prelucrării datelor experimentale. La terminarea lucrării, aparatele, conductoarele și locul de muncă vor fi lăsate în ordine.