

ENCHIPANE

MARICEL ADAM
ADRIAN BARABOI

II
LECTRICE

EDITURA "GH. ASACHI"

IASI 2002

Capitolul 1

ÎNTRERUPĂTOARE TRADIȚIONALE ÎN COMUTAȚIA DE PUTERE

1.1. Cerințe funcționale

Mijloacele utilizate pentru întreruperea curentului electric au evoluat deosebit de mult, în decursul timpului; eforturile din cercetare dictate de nevoile mereu crescânde ale rețelilor, cât și din imperative economice, au condus la fabricarea de echipamente electrice cu performanțe din ce în ce mai bune.

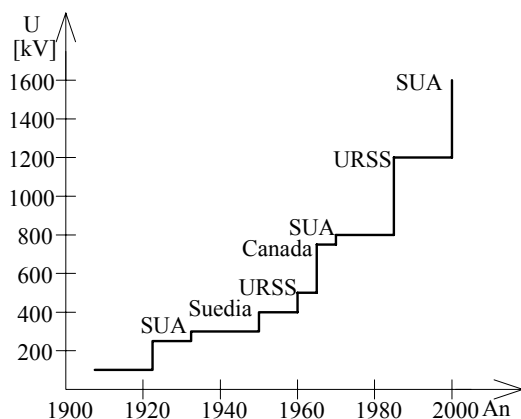
La început, întreruperea curentului era realizată prin simpla separare a celor două contacte la o distanță suficient de mare pentru ca arcul electric să se stingă. Această tehnică s-a dovedit rapid foarte limitată și soluții noi, adesea surprinzătoare, au apărut. Cu titlu anecdotic, se poate semnala realizarea în 1884 a unui "întrerupător-cuțit cu întrerupere rapidă", la care arcul era suprimat cu ajutorul unui cuțit izolant manevrat cu mâna, cu riscurile și pericolele la care era supus operatorul care era "invitat" să realizeze manevra. Introducerea dispozitivelor de comutație în ulei, la începutul secolului, au condus la obținerea de echipamente de comutație la care performanțele au putut fi crescute considerabil.

Realizarea de medii din ce în ce mai adaptate pentru stingerea arcului electric (vidul, hexafluorura de sulf) și de tehnici performante (suflajul violent, punerea în mișcare a arcului electric etc.) au permis obținerea de echipamente moderne capabile să răspundă corespunzător exigențelor rețelilor electrice.

Evoluția echipamentelor de comutație în decursul timpului a fost impusă de diferiți factori dintre care sunt de menționat:

- creșterea nivelului maxim al tensiunii rețelilor electrice, Fig.1.1.

Necesitatea creșterii nivelului maxim al tensiunii rețelilor rezultă din cererea mereu crescândă de energie electrică și din dorința realizării unui transport optim.

**Fig.1.1**

Evoluția nivelului maxim al tensiunii în rețelele electrice

În prezent nivelurile de tensiuni ale rețelelor de interconexiune sunt de ordinul sutelor de kV ajungând și chiar depășind 1000 kV în cazul liniilor de lungime mare;

-interconexiuni și buclări complexe ale rețelelor. În cursul timpului, topologia rețelelor a evoluat prin introducerea de noi linii, prin creșterea numărului și a capacității stațiilor de transformare;

-creșterea puterii instalate. Puterea totală instalată a crescut continuu prin introducerea în exploatare de noi centrale electrice și interconexiuni cu alte sisteme electroenergetice. Totodată se constată creșterea puterii instalate pe unitatea de producere a energiei electrice (centrale nucleare sau hidroelectrice susceptibile să furnizeze mai multe zeci de mii de MW).

Această evoluție a determinat printre altele creșterea valorilor curenților nominali (curenți nominali de 4 kA și 10 kA pe barele stațiilor sunt frecvent întâlniți) și a curenților de scurtcircuit care pot atinge și chiar depăși 100 kA.

Dacă vom considera consecințele unei defectuoase funcționări a echipamentului de comutație (atât din punct de vedere al solicitărilor la care este supus, cât și al costului kWh nefurnizat), cât și dorinței unităților de transport și distribuție să asigure un serviciu de o calitate crescândă, atunci este ușor să înțelegem dorința de ameliorare a calității întrerupătoarelor: atât pentru a-i conferi performanțe adecvate rețelelor în care se montează, cât și să satisfacă criteriile economice, de mediu etc.

Întrerupătorul într-o rețea are funcția de bază să controleze continuitatea între două puncte ale circuitului. Această sarcină, în aparență simplă, cere echipamentului electric multiple calități și aptitudini, indispensabile pentru a putea face față la o funcționare într-o gamă variată de situații, ce pot apare în funcționarea unei rețele electrice.

Din punct de vedere pur electric, întrerupătorul posedă două stări stabile deschis-închis și trebuie să fie capabil să asigure tranziția dintr-o stare în alta într-un mod compatibil cu rețeaua în care el este montat.

În poziția "deschis", el trebuie să suporte, între contactele sale, diferitele solicitări datorate tensiunii de frecvență industrială, respectiv supratensiunilor

tranzitorii (de comutație, atmosferice). Aceste solicitări se aplică izolației dintre contactele deschise, celei dintre faze, cât și celei față de pământ, în ultimile cazuri indiferent de poziția echipamentului.

În poziția "închis" el trebuie să suporte în permanență curentul nominal, fără a suferi supraîncălziri anormale ale contactelor (evitându-se astfel oxidarea excesivă, eventual chiar sudarea contactelor). În cazul unui defect îndepărtat el trebuie să suporte (tolereze) curentul de scurtcircuit, până când un alt echipament de comutație, mai apropiat de defect, asigură comutația circuitului.

La închidere el trebuie să fie apt să stabilească curentul în circuit atât în situație normală cât și la anclanșarea pe defect. Mai mult, mecanismul de acționare trebuie realizat pentru a permite efectuarea unui ciclu complet de manevră. Dimensionarea mecanismului de acționare va trebui să țină cont de: inerția pieselor mobile, frecări, energia eventualului sistem de declanșare și de asemenea de eforturile electrodinamice datorate curenților.

La deschidere el trebuie să fie capabil să întrerupă, fără a se defecta, curentul care îl traversează și să suporte, după comutația curentului tensiunea care apare între bornele sale (fără a fi el însuși responsabil de supratensiuni prea mari).

La deschiderea pe defect valorile foarte mari ale curenților de scurtcircuit duc la solicitări deosebite pe care acesta trebuie să le poată suporta cu păstrarea integrității mecanice. Valorile mari ale curentului de scurtcircuit conduc la dificultăți în realizarea comutației, curentul și tensiunea sunt practic în quadratură de fază și deci viteza de creștere a tensiunii de restabilire are valori ridicate. Mai mult, dacă locul de defect nu este la, sau în apropierea bornelor echipamentului și deci la o anumită distanță de întrerupător, reflexia undelor de tensiune introduce solicitări suplimentare în timpul care urmează trecerii prin zero a curentului (defect kilometric). Pericolul defectului kilometric constă în reamorsarea arcului electric, deoarece, din cauza vitezei mari de creștere a tensiunii de restabilire, aceasta întrece ca valoare tensiunea de ținere dintre contactele întrerupătorului.

Valorile mari ale intensității curentului cer reducerea la minimum posibil a timpului global de eliminare a defectului. Costul suplimentar în realizarea unui asemenea obiectiv trebuie să fie compensat prin câștigurile care rezultă din:

- reducerea solicitărilor (electrodinamice, termice etc.) la care este supus întrerupătorul dar și toate elementele care sunt traversate de curentul de defect;

- ameliorarea stabilității rețelei și în consecință utilizarea mai bună a liniilor de transport; beneficiul este și mai substanțial dacă se evită sau întârzie astfel construcția de noi linii.

În cazul deconectării curenților de valori mici, apar dificultăți care nu pot fi neglijate:

- pentru curenți mici inductivi este necesar a se evita fenomenul de tăiere sau smulgere a curentului, care este responsabil de supratensiunile care pot conduce la un defect evolutiv;

- pentru curenții mici capacitivi (linii aeriene sau subterane în gol, baterii de condensatoare) echipamentul trebuie să evite reamorsările succesive, responsabile de o eventuală creștere a tensiunii.

Global, dificultatea rezidă în faptul că întrerupătorul trebuie să rămână compatibil cu fiecare din problemele prezentate anterior, ceea ce uneori cere introducerea de artificii (cum ar fi, spre exemplu, conectarea de elemente în paralel cu camera de stingere).

Din punct de vedere mecanic, modul de funcționare este destul de neobișnuit. Pe majoritatea duratei sale de existență, întrerupătorul ocupă una din cele două poziții stabile (închis-deschis) și ocazional el asigură comutarea curenților de regim normal. Comutarea curenților de defect reprezintă situații deosebite, în care întrerupătorul este mult mai solicitat și își îndeplinește rolul său specific. Acest mod de funcționare special arată că echipamentul trebuie să poată acționa în orice moment, eventual după un lung timp de inactivitate.

Întrerupătoarele trebuie deci să fie realizate pentru a oferi o fiabilitate maximă îndeosebi mecanică (deoarece, dacă puterea de conectare sau deconectare au fost verificate prin încercări de tip, aceste aptitudini sunt perpetuate în ipoteza că ansamblul de elemente mecanice este în stare de funcționare).

Asigurarea unei fiabilități corespunzătoare, care are un caracter decisiv în cazul întrerupătoarelor, trebuie menținută deși unii factori acționează în sens invers:

- creșterea performanțelor (diminuarea timpului de eliminare a defectelor, reanclanșarea automată etc.) introduce limitări suplimentare;
- reducerea duratei și a numărului de întrețineri ale echipamentului;
- dezvoltarea rapidă (concepții noi, materiale moderne) se opune principiului că se va ajunge la un minim de schimbări.

1.2. Evoluția tehnicii de comutație

Pentru a asigura comutația unui curent electric, este suficient ca rezistența elementului de întrerupere, nulă la plecare, să crească și să devină infinită (rămânând așa chiar în prezența tensiunii aplicate la bornele sale).

În curent alternativ problema se simplifică deoarece curentul trece de două ori prin valoarea zero într-o perioadă. Rezultă deci că este posibilă

întreruperea curentului în momentul în care energia electromagnetică înmagazinată în circuit este nulă.

Întrerupătorul ideal trebuie deci să posede următoarele caracteristici:

- rezistență nulă, cât timp este parcurs de curent;
- conductanță nulă în momentul întreruperii curentului și rigiditate dielectrică suficientă pentru a suporta tensiunea de la bornele sale;
- aptitudinea de trecere dintr-o stare în alta instantaneu și sincronizat cu trecerea prin zero a curentului.

Din păcate, dacă elementele foarte bune conducătoare sau foarte bune izolatoare există într-un număr important, materialele susceptibile să posede succesiv ambele proprietăți nu sunt numeroase.

Totuși, în momentul întreruperii curentului, separarea contactelor (imersate într-un mediu lichid, gazos sau rarefiat) este însoțită de apariția arcului electric, care se menține până ce condițiile favorabile stingerii definitive sunt reunite. Și astfel, din fericire, arcul electric prezintă caracteristici care se apropie de cele dorite:

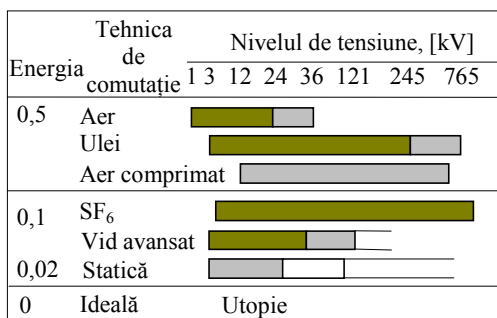
- prin mecanismul deionizării este posibilă trecerea din starea de plasma conductoare în cea de mediu electroizolant;
- această trecere se efectuează natural la trecerea prin zero a curentului și într-un mod foarte rapid, datorită inerției termo-electrice reduse a mediului ionizat.

Arcul electric, deși aliat pe plan funcțional (se spune că este un rău necesar), trebuie stins pentru a se asigura succesul comutației. Aceasta se realizează dacă se asigură următoarele condiții:

- în timpul trecerii curentului prin zero și după separarea contactelor, energia disipată în arc trebuie să poată fi absorbită de echipament, fără deteriorări sau consecințe asupra posibilităților de întrerupere;
- pe perioada interacțiunii arc-rețea, bilanțul energetic trebuie să fie defavorabil arcului electric (energia disipată de circulația curentului post-arc nu trebuie să fie suficientă pentru a provoca o reaprindere a arcului);
- tensiunea tranzitorie de restabilire nu trebuie să fie superioară tensiunii de ținere între contacte, care se restabilește progresiv în zona anterior ionizată, evitându-se astfel o reaprindere.

Deși procesul teoretic al comutației în curent alternativ este simplu, soluțiile folosite în plan practic au implicat eforturi uriașe și au condus la echipamente extrem de diversificate, dar care răspund din ce în ce mai bine nevoilor rețelelor și preocupărilor economice.

În întrerupătoare apariția și stingerea arcului electric are loc în medii relativ diferite: aer, hidrogen (care rezultă în urma descompunerii uleiului), hexafluorură de sulf sau vid. Este interesant de constatat că medii

**Fig.1.2.**

Principalele tehnici în comutația de putere

tensiunii.

O prezentare sintetică a tehnicilor specifice comutației de putere, în ordinea minimizării energiei disipate în coloana arcului pe durata întreruperii este dată în Fig.1.2.

Fiind printre primele utilizate și având o construcție foarte simplă, aparatele cu comutație în aer normal permit disiparea sub formă de căldură în coloana arcului a circa 50% din energia înmagazinată în circuitul întrerupt.

Dacă în prezent se mai poate constata supremația acestor aparate, atunci aceasta este restrânsă doar la construcțiile de joasă tensiune, care se caracterizează prin simplitate, indicatori de fiabilitate superiori și grad ridicat de securitate; extinderea la tensiuni superioare este blocată de dezavantaje majore, cum ar fi dimensiunile de gabarit exagerat de mari, corespunzătoare distanțelor de izolație în aer. Sunt totuși construite și utilizate contactoare electromagnetice de medie tensiune, caracterizate însă prin capacitate redusă de deconectare și tensiune nominală de numai 6 kV.

Creșterea capacității de vehiculare a fluxurilor de energie electrică prin creșterea tensiunii nominale a instalațiilor a impus o nouă tehnică, aceea a comutației în ulei mineral, mediu electroizolant și de stingere cu proprietăți superioare aerului normal.

Analiza atentă a fenomenelor care au loc la stingerea arcului electric în ulei justifică aserțiunea potrivit căreia, uleiul este mediu electroizolant și doar "furnizor" de mediu de stingere care, în acest caz, este de fapt hidrogenul.

Cantitatea procentual mare de hidrogen obținută prin descompunerea uleiului și proprietățile termice remarcabile ale acestui gaz exercită asupra coloanei arcului electric, prin răcirea acesteia, un puternic efect deionizant.

electroizolante și de stingere cu caracteristici foarte diferite sunt puse în joc: o gamă de presiuni ce se întinde de la zero până la 100 at; utilizarea de gaze cu densități mici (hidrogenul) sau foarte mari (hexafluorura de sulf).

Existența acestei diversități se explică prin motive istorice și prin necesitatea realizării unor tehnici adecvate pentru domenii prescrise ale

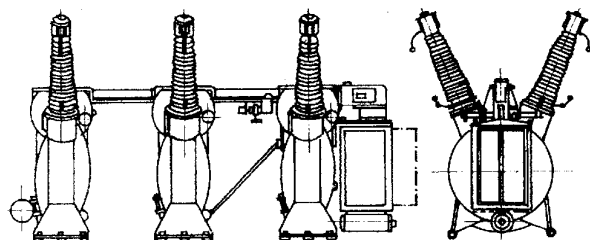


Fig.1.3
Întrerupător cu ulei mult

Sub raport cronologic, primele tipuri de întrerupătoare cu comutație în ulei sunt cunoscute sub numele de întrerupătoare cu ulei mult (Fig.1.3) care, în pofida dimensiunilor de gabarit și a unor cantități enorme, de

zeci de tone de ulei pe pol, au fost fabricate la parametri atingând valori performante în epocă (330 kV/25 kA).

Următoarea generație, cea a întrerupătoarelor cu ulei puțin, a fost extinsă la tensiuni foarte înalte prin construcția camerelor de stingere pe principiul modulului (Fig.1.4) și realizarea de întreruperi multiple pe pol. Progresele înregistrate în construcția întrerupătoarelor cu ulei au făcut ca acestea să cunoască o lungă perioadă de monopol, extinsă până spre anii 1930-1940.

Comutația în ulei reprezintă în mod incontestabil prima tehnică în care se utilizează un mediu de stingere caracterizat prin valori mici ale constantei de timp a arcului electric, fapt care a permis ca aceste echipamente să facă față cu succes dificultăților care însoțesc întreruperea curenților sub tensiuni tot mai mari; ele au ajuns să fie utilizate în instalații cu tensiunea de 765 kV, având capacitatea să întrerupă curenți de scurtcircuit de 40 kA.

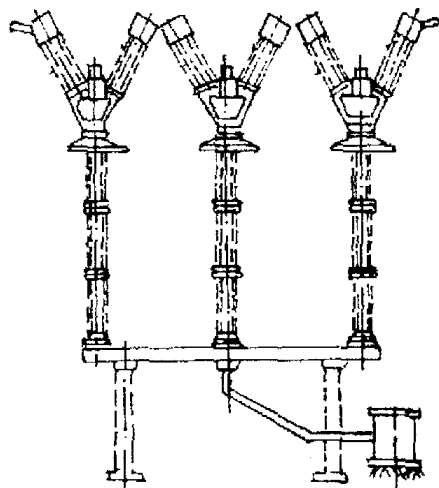


Fig.1.4
Întrerupător cu ulei puțin

Întrerupătoarele cu ulei puțin constituie încă o tehnică de comutație existentă azi în exploatare și pe piața aparatelor cu caracteristici modeste și medii.

Nu există nici o îndoială însă că progresele înregistrate în dezvoltarea tehnicilor moderne vor conduce la dispariția lor. După datele furnizate de firma Merlin Gerin, din numărul total al întrerupătoarelor de medie tensiune produse și vândute în CEE, cele cu ulei puțin au scăzut de la

67,8% în 1980 la 23,7% în 1990, tendința de scădere păstrându-se.

Bazele tehnicilor de comutație în gaze sub presiune se pun în jurul anilor 1930, când apar primele întrerupătoare cu aer comprimat. Înainte de orice, acestea au încercat să răspundă unor cerințe de securitate, în contextul unor incendii și explozii ale întrerupătoarelor cu ulei mult, care atinseseră apogeul.

În construcția întrerupătoarelor cu aer comprimat, drept mediu electroizolant și de stingere se folosește aerul la presiune mai mare decât cea atmosferică. La multe construcții, energia acumulată în aerul sub presiune servește și pentru acționarea întrerupătorului.

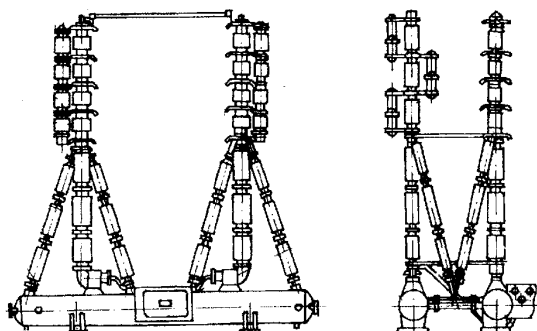
Stingerea arcului electric de deconectare se obține prin suflarea acestuia cu aer comprimat, deionizarea coloanei având loc în principal prin difuzie.

Procesul de stingere depinde de mai mulți parametri, dintre care se menționează presiunea și viteza aerului în ajutajele camerei de stingere, secțiunea ajutajelor de eșapare și orientarea jetului de aer în raport cu coloana arcului electric, lungimea acestei coloane la un moment dat, viteza de creștere a tensiunii tranzitorii de restabilire. Spre deosebire de întrerupătoarele cu ulei, intensitatea suflajului, dată în principal de presiunea și viteza în ajutaj a aerului comprimat, este independentă de energia arcului electric, fiind condiționată numai de construcția dispozitivului de stingere; de aici necesitatea unor măsuri suplimentare privind evitarea consecințelor tendinței de funcționare cu tăiere (smulgere) de curent, în special la întreruperea curenților de mică intensitate. Creșterea presiunii aerului are ca efect creșterea rigidității dielectrice, în același timp obținându-se și ameliorarea condițiilor de stingere a arcului, prin scăderea constantei de timp a acestuia.

Corespunzător curbelor lui Paschen, pentru o valoare dată a tensiunii de străpungere, creșterea presiunii conduce la distanțe de izolație mai mici, deci la micșorarea dimensiunilor de gabarit; la aparatele construite, în funcție de caracteristicile specifice variantei, valorile de lucru ale presiunii sunt de ordinul 2...3 MPa (20...30 at).

Întrerupătoarele cu aer comprimat se deosebesc prin particularitățile constructive ale camerelor de stingere și prin modul în care se asigură nivelul de izolație între contactele deschise.

În general, întrerupătoarele construite sunt echipate cu camere de stingere funcționând cu suflaj longitudinal, pentru medie tensiune existând însă și variante prevăzute cu camere de stingere având suflaj transversal. Acestea din urmă se caracterizează printr-o eficiență superioară a suflajului, dar au dezavantajul unui consum sporit de aer comprimat, eșaparea acestuia făcându-se în atmosferă.

**Fig.1.5**

Întrerupător cu aer comprimat de înaltă tensiune

Deoarece lungimea arcului electric, optimă sub raportul stingerii, rezultă în general mai mică decât distanța de izolație dintre contactele deschise, întrerupătoarele cu aer comprimat sunt prevăzute cu separatoare de secționare, având rolul să realizeze distanțele de izolație necesare. În funcție de tipul constructiv, separatoarele de secționare pot

fi amplasate în aer liber (aparate de medie tensiune) sau în incinte umplute cu aer comprimat (înaltă și foarte înaltă tensiune).

Progresele înregistrate de tehnica comutației în aer comprimat au condus la obținerea unor aparate cu parametri electrici notabili, care însă nu mai păstrează în momentul de față decât următoarele două destinații: întrerupătoare de generator și întrerupătoare de exterior (Fig.1.5), ce pot fi folosite în zone cu climat deosebit de aspru. Acestea sunt capabile să funcționeze satisfăcător și la temperaturi de -40°C , grație absenței tendinței de lichefiere a aerului comprimat. Admisia aerului comprimat în camera de stingere poate fi temporară, numai pe durata stingerii arcului electric sau permanentă. Construcțiile având camere de stingere permanent umplute cu aer comprimat se caracterizează prin distanțe de izolație mai mici între contacte și deci prin dimensiuni de gabarit reduse.

Alte tehnici de comutație convenționale, utilizând medii de stingere diverse (apa, gazele de descompunere a unor materiale electroizolante solide etc.) au avut arie de răspândire restrânsă și existență efemeră.

1.3. Întrerupătoare cu ulei puțin

1.3.1. Întrerupătoare de medie tensiune de tip IO

Întrerupătoarele cu ulei puțin conțin o cantitate foarte redusă de ulei, deoarece acesta servește numai ca mediu de stingere a arcului electric de deconectare. Izolația între elemente aflate la potențiale diferite este realizată atât prin aer, cât și cu materiale electroizolante solide (porțelan, rășini etc.).

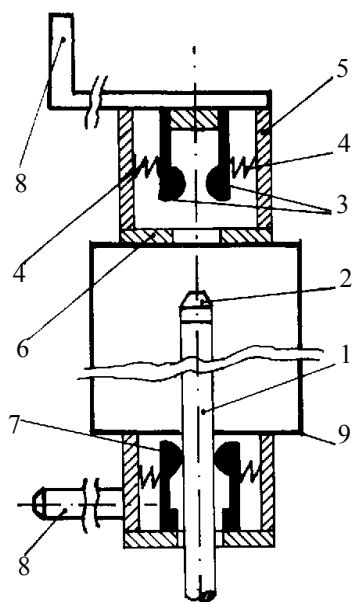
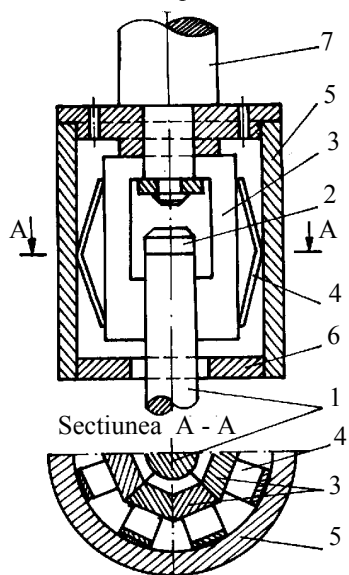


Fig.1.6

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



Sectiunea A - A

Fig.1.7

Contact de tip tulipă

Întrerupătorul cu ulei puțin de medie tensiune de tip IO se fabrică în construcție tripolară, cei trei poli fiind aplasați pe un șasiu comun pe care se găsește de asemenea 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 transmisie a mișcării la contactul mobil și de rezistență mecanică.

Componentele unei căi de curent, care funcționează în uleiul conținut într-o cuvă cilindrică din stecloctextolit rulat, consolidat cu rășini epoxidice, sunt reprezentate în Fig.1.6.

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 să preia 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, ultimile situate în exteriorul cuvei; cu 9 s-a notat camera de stingere.

Construcția detaliată a contactului de tip tulipă este reprezentată în Fig.1.7, 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, în paralel cu polul principal (întrerupător),

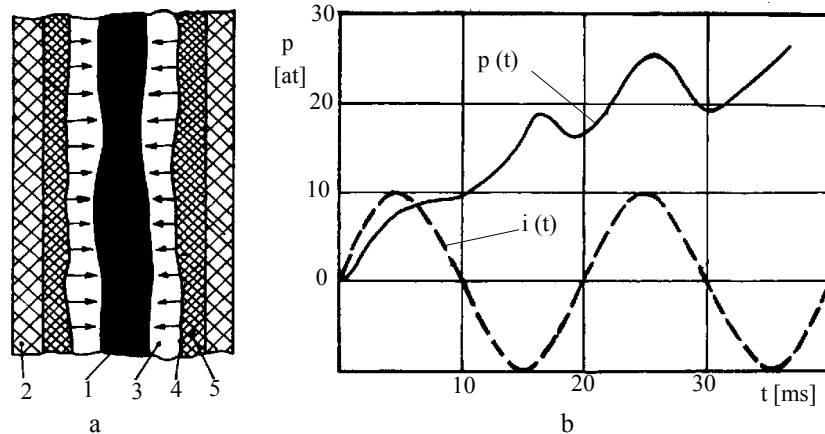


Fig.1.8

Expandarea uleiului

conectat un pol separator.

Cei doi poli, întrerupător și separator, funcționează în cuve cu ulei separate, cu camera de stingere fiind prevăzută doar pentru 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.

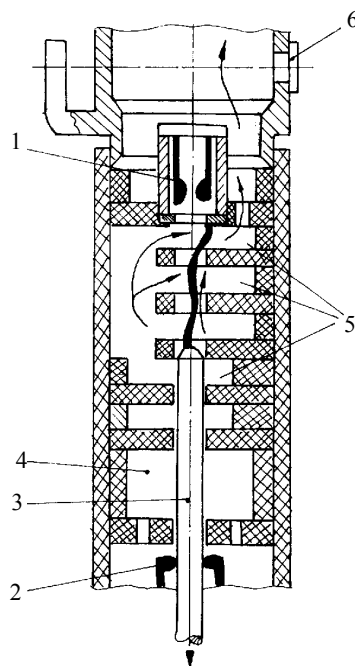


Fig.1.9

Structura de principiu a unei camere de stingere

În comparație cu alte variante constructive, structura prezentată în Fig.1.6 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.

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.1.8a.

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.1.8b. În aceste momente are loc expandarea (evaporarea) la suprafața 4, a uleiului supraîncălzit 5. Vaporii antrenază 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.

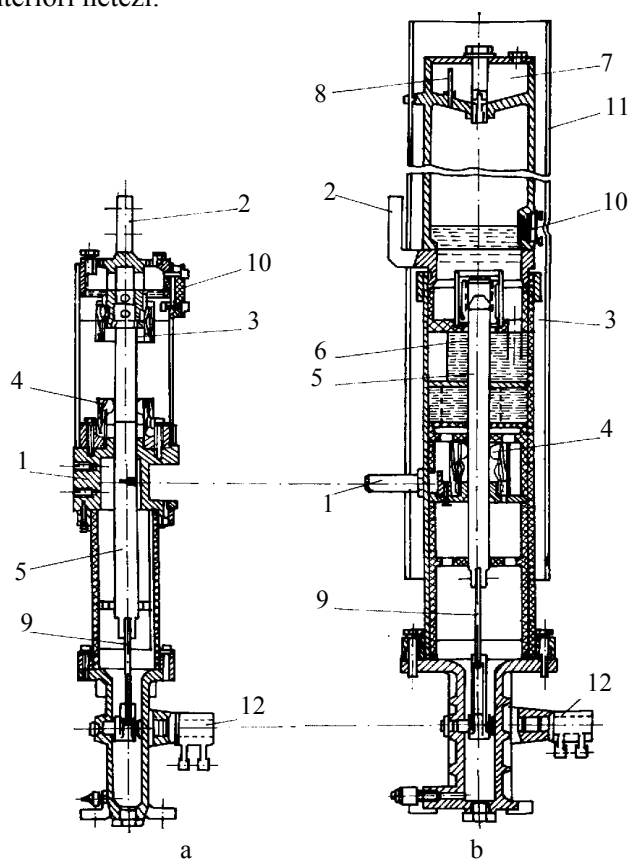


Fig.1.10

Secțiune prin polul separator (a) și polul întrerupător (b) ale unui întrerupător IO: 1, 2-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.

În Fig.1.9 este prezentată structura de principiu a unei camere de stingere care echipează întrerupătoarele tip IO de medie tensiune și în care, stingerea arcului electric, având la bază 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.1.8b, 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, vaporii rezultați în urma expandării uleiului și gazele de descompunere deplasându-se pe traseele indicate prin săgeți în Fig.1.9.

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.

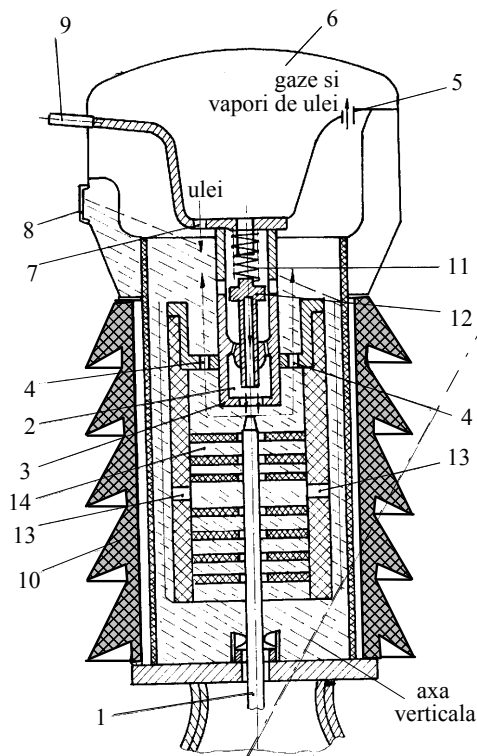
O secțiune prin partea activă a unui întrerupător de medie tensiune, de tip IO cu pol separator este prezentată în Fig.1.10.

1.3.2. Întrerupătoare de înaltă tensiune de tip IO

Întrerupătoarele de tip IO de înaltă tensiune se caracterizează printr-un înalt grad de tipizare, întreaga serie ($U_n=110, 220, 400$ kV) având la bază o singură cameră de stingere modul, cu parametrii: $U_n=85$ kV, $I_n=1600$ A, $I_{pr}=31,5$ kA. Sunt echipamente cu comandă unipolară, fiind realizate cu poli independenți, fiecare pol având mecanism de acționare propriu. Pentru tensiunea nominală de 110 kV există variante atât bipolare cât și tripolare, cu un singur mecanism de acționare fiind posibilă comutarea a doi, respectiv trei poli. Mecanismul de acționare este cu comandă oleopneumatică, de tip MOP.

Stingerea arcului electric în camera modul se obține pe seama expandării uleiului, deionizarea coloanei arcului fiind activată sub acțiunea suflajului combinat, longitudinal și transversal, produs de curenți turbulenți de ulei și vaporii de ulei.

La deconectare, prin deplasarea tijei 1 a contactului mobil, Fig.1.11, extremitățile arcului electric sunt preluate de inelul 3, respectiv de vârful tijei 1, ambele confecționate din aliaj Cu-W rezistent la uzură electrică, asigurându-se

**Fig.1.11**

Camera modul a întrerupătoarelor de înaltă tensiune de tip IO

14, arc electric fiind supus astfel unui suflaj transversal de curenți turbulenți conținând ulei și vaporii, sub acțiunea cărora se obține stingerea definitivă. Durata de ardere a arcului este de 10...30 ms.

Întrerupătoarele de înaltă tensiune tip IO sunt prevăzute cu piston diferențial anticavitație, cu rol de preîntâmpinare a fenomenului de cavitație, care constă în formarea unei pungi vidate în urma tije contactului mobil, pe durata deplasării acestuia la deconectare. Prezența cavitației împiedică accesul uleiului la extremitatea arcului electric.

Dispozitivul anticavitațional, Fig.1.11, este constituit din pistonul 12 care, sub acțiunea resortului 11, urmărește pe o cursă limitată deplasarea tije 1 a contactului mobil, injectând ulei proaspăt la extremitatea arcului electric.

Camerele de stingere modul sunt susținute de către ansamblul mecanic, Fig.1.12, aflat în construcția întrerupătorului. Acest ansamblu conține două mecanisme bielă-manivelă 9 care transmit mișcarea de la

astfel protecția suprafețelor contactului de lucru. Alungirea arcului electric în camera de stingere conduce la expandarea uleiului, proces care inițiază un autosuflaj longitudinal intens de gaze și vaporii de ulei, dirijat în sens contrar deplasării tije contactului mobil. Acești compuşii părăsesc volumul uleiului trecând prin jiclorul de eşapare 5 în camera de detantă 6, incintă în care gazele se răcesc, parțial fiind eşapate în atmosferă, iar vaporii condensează, uleiul rezultat fiind recirculat, prin valva cu sens unic 7, în camera de stingere.

După ce contactul mobil 1 eliberează orificiile transversale 13, prin acestea se produce detenta gazelor care însoțesc arc electric, presiunea acestora scăzând brusc. Drept urmare are loc expandarea uleiului reținut în nișele circulare

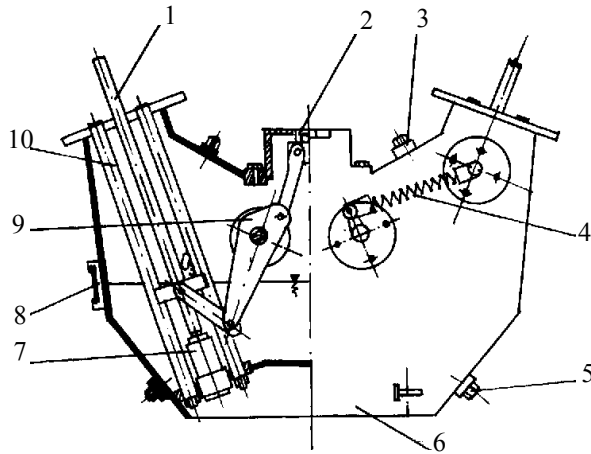


Fig.1.12

Ansamblul mecanism al întrerupătorului IO de înaltă tensiune

dispozitivul cu dublu efect 2, la tija 1 a contactului mobil și un mecanism de zăvorâre, prevăzut cu resortul tumbler 4.

La sfârșitul cursei de deschidere, mișcarea tijei 1 este frânată de amortizorul de deschidere 1. Celelalte notații au următoarele semnificații: 3, 5-bușoane de umplere, respectiv de golire, 6-carter, 8-vizor, 10-tijă de ghidare.

Gama

întrerupătoarelor tip IO de

înaltă tensiune se obține prin conectarea în serie a unui număr convenabil de camere modul având configurația celei din Fig.1.10, asigurându-se prin coloane electroizolante, de asemenea de tip modul, izolația corespunzătoare față de pământ.

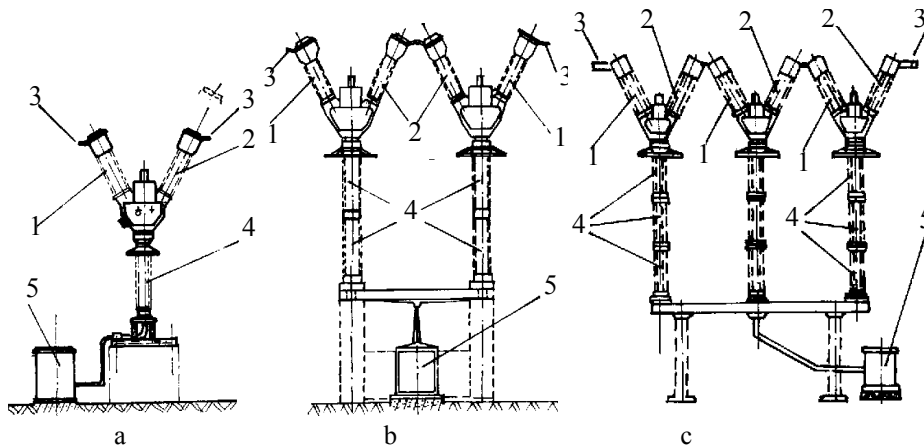


Fig.1.13

Gama întrerupătoarelor de înaltă tensiune de tip IO

Astfel, pentru întrerupătorul de 110 kV, Fig.1.13a, sunt utilizate două camere de stingere, 1 și 2, având contactele înseriate și prevăzute cu bornele de racord 3.

Izolația față de pământ este asigurată prin coloana electroizolantă 4, cu 5 fiind notat mecanismul de acționare cu comandă oleopneumatică de tip MOP.

În Fig.1.13b,c sunt reprezentate construcțiile corespunzătoare unui pol pentru întrerupătoarele IO-220 kV/1600 A (cu patru camere de stingere și tot atâtea locuri de întrerupere pe pol), respectiv IO-400 kV/1600 A, având șase camere modul înseriate.

În paralel cu camerele modul se conectează condensatoare având rolul să uniformizeze căderile de tensiune pe acestea, în diferite regimuri de funcționare.

Capitolul 2

ECHIPAMENTE DE COMUTAȚIE CU HEXAFLUORURĂ DE SULF

2.1. Generalități

Progresele înregistrate în tehnica echipamentelor de comutație sunt strict condiționate de descoperirea și utilizarea convenabilă a unor medii electroizolante care, în același timp să posede și cât mai bune proprietăți de stingere a arcului electric.

În paralel cu întrerupătoarele de putere realizate în tehnici tradiționale (ulei puțin, aer comprimat etc.) firmele specializate au fabricat, în ultimele trei decenii, echipament de comutație bazat pe o tehnică nouă, cea a comutației în hexafluorură de sulf.

În prezent, datorită performanțelor atinse, aceste aparate cunosc o tot mai largă utilizare și tind să înlocuiască tehnica de comutație tradițională.

Costrucțiunile întrerupătoarelor de putere cu comutație în hexafluorură de sulf pot fi grupate în câteva variante de bază, după tehnica utilizată pentru obținerea suflajului în camera de stingere.

În Fig.2.1, se redau schematic diferitele soluții utilizate de-a lungul timpului în realizarea echipamentelor de comutație cu SF_6 pentru a se asigura stingerea arcului electric și obținerea de

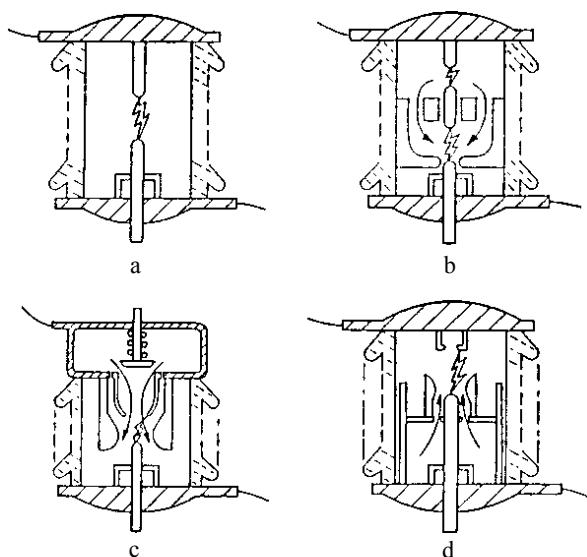


Fig.2.1

*Procedee de stingere a arcului electric utilizate în
echipamentele cu SF_6*

performanțe superioare celor ce pot fi obținute prin comutația liberă, Fig.2.1a.

Un prim sistem utilizat a fost cel în care arcul "primar" dă naștere la o presiune necesară pentru a forța trecerea unui debit de gaz printr-un număr de duze de suflaj, Fig.2.1b. Acest principiu, utilizat de primele întrerupătoare fabricate de firma Westinghouse (ale căror caracteristici sunt: tensiunea nominală 115 kV, curentul nominal 400 A, puterea de rupere 1000 MVA) a fost rapid abandonat pentru a face loc sistemului cu dublă presiune (numit și pneumatic), Fig.2.1c, apoi sistemului cu autocompresiune (numit și autopneumatic), Fig.2.1d.

2.2. Echipamente în tehnică pneumatică

Pionieratul în dezvoltarea tehnicilor de comutație în hexafluorură de sulf revine firmelor americane. Producția industrială a acestui gaz a început în SUA în anul 1947 și tot aici, în 1953, s-a propus pentru prima dată utilizarea sa în realizarea tehnicii de comutație destinate instalațiilor de mare putere; în 1959, firma Westinghouse realizează, în tehnică pneumatică, primele întrerupătoare cu hexafluorură de sulf.

În construcțiile de acest tip, stingerea arcului electric se face prin suflarea cu hexafluorură de sulf comprimată la presiuni relativ ridicate, principiu împrumutat de la întrerupătoarele cu aer comprimat. Circuitul de gaz este închis și conține două rezervoare, de joasă presiune (circa 0,3 MPa), respectiv de înaltă presiune (1,5 MPa), între care este amplasat un compresor, Fig.2.2. Datorită acestui aranjament, echipamentele realizate în tehnică pneumatică sunt cunoscute ca funcționând cu două presiuni. Hexafluorura de sulf la joasă

presiune umple în întregime construcția întrerupătorului, realizând izolația internă.

La deconectare, gazul stocat în rezervorul de înaltă presiune străbate ajutajele camerei de stingere exercitând suflajul necesar stingerii arcului electric, după care se destinde în rezervorul de joasă presiune. Presiunea în rezervorul de înaltă presiune este refăcută prin intrarea în funcțiune a compresorului de

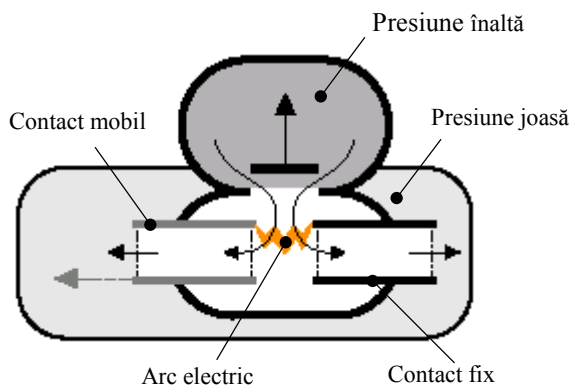


Fig.2.2

Principiul comutației pneumatice (dublă presiune)

hexafluorură de sulf.

Construcțiile de acest tip, ca de altfel și cele din generațiile următoare, sunt realizate în două variante, cunoscute în literatură sub denumirile de dead-tank, respectiv live-tank, diferite prin modul de realizare a izolației căilor conductoare față de pământ.

Un întrerupător de tip dead-tank are partea activă a polului închisă într-o cuvă metalică funcționând la potențialul pământului, umplută cu gaz SF_6 la joasă presiune, cu rol de realizare a izolației. Ieșirile la bornele de conexiune cu exteriorul se fac prin izolatoare de trecere pe care, în unele cazuri, sunt amplasate transformatoare de curent. Acest aranjament are multe elemente comune cu cel întâlnit la întrerupătoarele cu ulei mult și la unele variante de întrerupătoare cu aer comprimat.

Pentru exemplificare, în Fig.2.3a,b se prezintă schița de ansamblu și secțiunea transversală printr-un întrerupător dead-tank realizat de Westinghouse

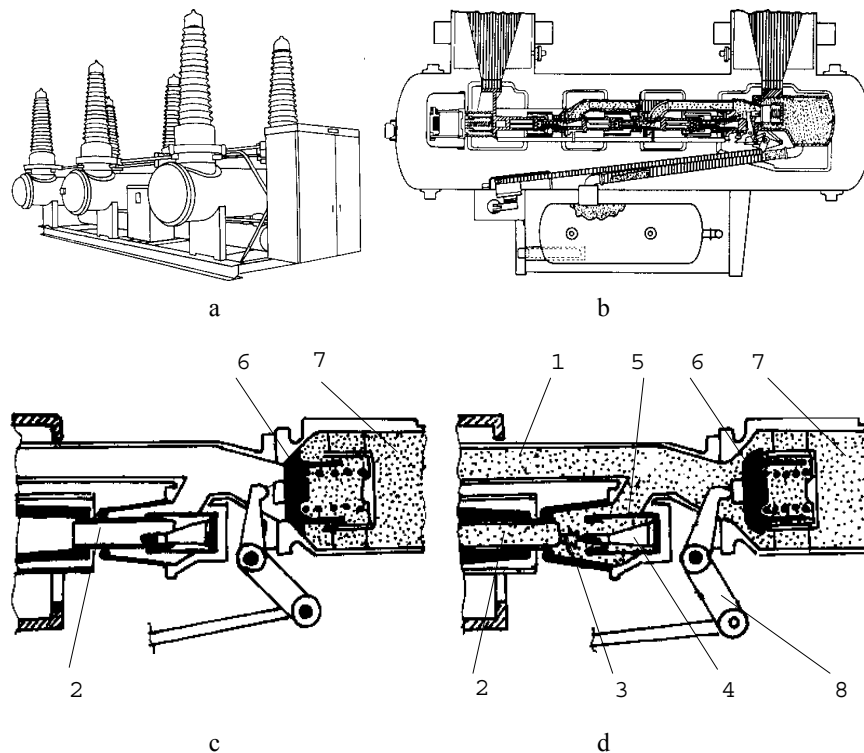


Fig.2.3

Întrerupător dead-tank în tehnică pneumatică: a-ansamblu; b-secțiune prin pol; c, d-schițe funcționale.

Electric Corporation-SUA, destinat instalațiilor de 220 kV; cu trei locuri de întrerupere pe pol (Fig.2.3b), aparatul poate deconecta curenți de scurtcircuit de până la 40 kA.

Construcția unei camere de stingere este reprezentată detaliat în Fig.2.3c,d.

Indiferent de starea închisă sau deschisă a contactelor întrerupătorului, Fig.2.3c, supapa 6 este închisă astfel încât, în aval de aceasta, gazul se află la joasă presiune.

La deconectare, Fig.2.3d, contactul mobil tubular 2 părăsește contactul fix de lucru 5 și extremitatea arcului electric 3 este imediat preluată de contactul fix de rupere 4. În acest moment, prin transmisia electroizolantă 8, se comandă deschiderea supapei 6 și, pe o durată foarte scurtă, hexafluorura de sulf aflată la înaltă presiune în compartimentul 7, este admisă în zona contactelor. Se obține astfel un suflaj longitudinal unilateral intens, care produce stingerea arcului electric. Prin conducta electroizolantă 1, gazul sub presiune este dirijat spre următoarea cameră de stingere modul.

Hexafluorura de sulf utilizată pentru exercitarea suflajului este apoi filtrată cu ajutorul unor elemente active din alumina și recomprimată la valoarea presiunii înalte de funcționare a întrerupătorului.

În construcțiile de tip live-tank izolația față de pământ se obține cu o coloană electroizolantă din porțelan, care susține camera de stingere. Se exemplifică tehnica pneumatică prin întrerupătoarele de înaltă tensiune tip SFA (Westinghouse Electric Corporation-SUA), având intensitatea curentului nominal de 2000 A și capacitatea nominală de rupere la scurtcircuit de 63 kA.

Construcția întrerupătorului, corespunzătoare unei tensiuni nominale de 362 kV, este prezentată în Fig.2.4. Notațiile utilizate au următoarele semnificații: 1-cameră de stingere modul, 2-izolator de trecere, 3-borne de conexiuni, 4-izolator suport, 5-compresor de hexafluorură de sulf, 6-rezervor cu gaz SF_6 la presiune înaltă.

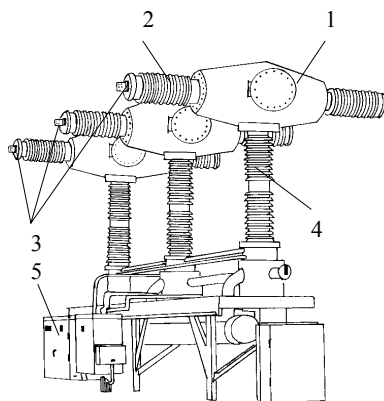
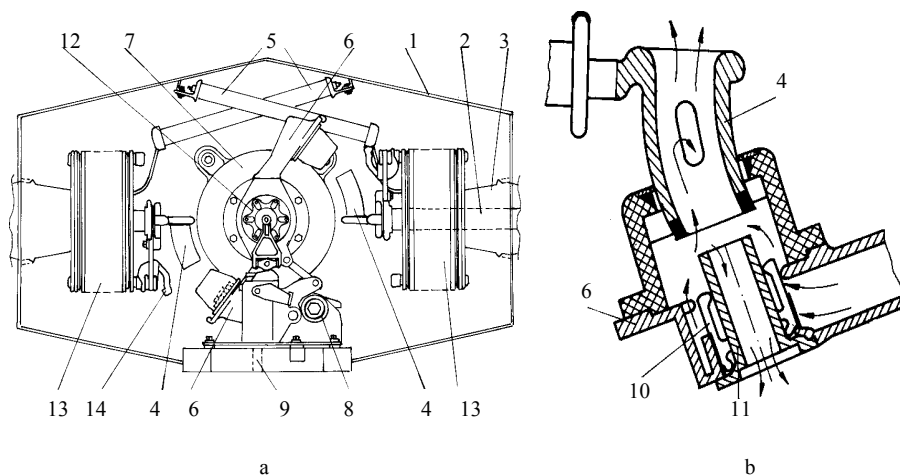


Fig.2.4

Întrerupător live-tank în tehnică pneumatică

Camera de stingere modul, Fig.2.5a, este constituită din incinta metalică 1, în care este amplasată întreaga construcție, funcționând în hexafluorură de sulf la presiunea p_2 , de 0,4 MPa. Calea de curent conține tijele 2 ale izolatoarelor de trecere 3, terminate la exterior cu bornele de conexiuni, iar în interior cu contactele fixe tubulare 4. Tensiunile pe cele două locuri de

**Fig.2.5**

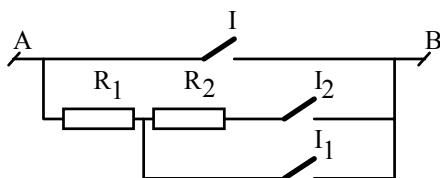
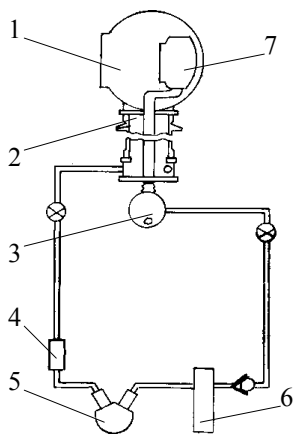
Partea activă a unui întrerupător live tank realizat în tehnică pneumatică: a-camera de stingere; b-sistemul de contacte.

întrerupere înseriate pe pol sunt uniformizate cu ajutorul condensatoarelor 5, conectate fiecare în paralel cu câte un contact.

Acționarea întrerupătorului se obține pe seama energiei acumulate în bara de torsiune 8, mișcarea fiind transmisă la contactele mobile rotative 6. Comanda acționării se face pe cale mecanică, prin intermediul tijei 9.

În poziția închis, contactele de lucru (Fig.2.5b) se stabilesc între suprafața exterioară piesei tubulare 4 a contactului fix și degetele de contact 10, dispuse pe circumferința piesei tubulare 11 a contactului mobil.

Pentru deconectare se comandă acționarea contactului mobil 6, care execută o mișcare de rotație de circa 40° , simultan cu care se deschide valva 12 (Fig.2.5a), prin care se face admisia hexafluorurii de sulf din rezervorul de înaltă presiune 7, în incinta 1. După separarea contactelor 4, 10, stingerea arcului electric de deconectare se obține sub acțiunea suflajului intens cu hexafluorură de sulf (Fig.2.5b), care se destinde de la presiunea p_1 , de 1,7 MPa (existentă în rezervorul auxiliar 7, Fig.2.5a), la presiunea p_2 . Extremitățile arcului electric se sprijină pe suprafețele interioare ale pieselor tubulare de contact 4, 11, suprafața contactului de lucru fiind astfel protejată la electroeroziune.

**Fig.2.6***Rezistențe de șuntare***Fig.2.7***Circuitul principal de gaz*

Ca și în cazul întrerupătoarelor cu aer comprimat, limitarea supratensiunilor de comutație este posibilă prin utilizarea unor rezistoare liniare de șuntare a contactelor principale; schema electrică de principiu este dată în Fig.2.6.

La deconectare, se deschid mai întâi contactele principale I de pe calea de curent A-B a polului, urmate în

ordine de contactele auxiliare I_1 , I_2 ; în acest fel, rezistența introdusă în circuitul deconectat crește secvențial la valorile R_1 , (R_1+R_2) , după care are loc întreruperea completă a circuitului.

Acest mod de funcționare conferă tensiunii tranzitorii de restabilire un caracter aperiodic, cu valori relativ scăzute ale factorului de oscilație.

Rezistoarele de șuntare și contactele auxiliare sunt amplasate în camera de stingere (Fig.2.5a) corespunzător reperelor 13, 14.

Circuitul principal de gaz SF_6 , închis și funcționând la cele două presiuni, este reprezentat în Fig.2.7. Gazul la presiunea joasă asigură izolația atât în camera de stingere modul 1, cât și în coloana suport electroizolantă 2; hexafluorura de sulf la presiune înaltă este stocată în rezervoarele principal 3 și auxiliar 7. După funcționarea întrerupătorului, presiunea în rezervoare este readusă la valoarea nominală prin intrarea în funcțiune a compresorului 5. Pentru reținerea fluorurilor rezultate din descompunerea gazului SF_6 sunt prevăzute filtrele 4 (de joasă presiune) și 6 (de înaltă presiune), ambele realizate din alumina (Al_2O_3). Lichefierea nedorită a hexafluorurii de sulf la scăderea temperaturii mediului este preîntâmpinată prin punerea în funcțiune a unor elemente de încălzire cu rezistoare termostatare, amplasate în pereții electroizolanți ai rezervorului 3.

Pe baza construcției de tip modul prezentate în Fig.2.4, întrerupătoarele SFA sunt extinse și la tensiunile nominale de 550 și 800 kV.

Deși permite obținerea unor valori ridicate pentru parametrii electrici, tehnica pneumatică sau cu două presiuni are o serie de inconveniente, dintre care se menționează: prezența compresorului necesar recomprimării gazului, riscul unei rate ridicate a pierderilor de gaz, necesitatea unor dispozitive

suplimentare de încălzire în construcția echipamentelor de exterior pentru prevenirea lichefierii.

2.3. Echipamente în tehnica autopneumatică

Tehnica suflajului autopneumatic (puffer circuit breakers), preconizată de GEC Alsthom și aplicată cu succes mai întâi în instalațiile de medie tensiune (1958) și apoi la înaltă tensiune (1966) a fost progresiv generalizată până la tensiuni de 765 kV.

Începând cu a doua jumătate a deceniului al șaselea, competiția între marile firme producătoare de echipament în tehnică autopneumatică are drept obiective creșterea parametrilor electrici (valori nominale pentru tensiune și curent), extinderea limitelor superioare ale capacității de deconectare la scurtcircuit și, nu în ultimul rând, micșorarea dimensiunilor de gabarit ale aparatelor produse.

În acest context se înscriu și eforturile orientate spre realizarea unor construcții tipizate, utilizând camere de stingere modul, cu tendința de reducere a numărului acestor dispozitive înseriate pe pol.

Evoluția cronologică a capacității de deconectare la scurtcircuit și a tensiunii pe camera de stingere modul a întrerupătoarelor tip autopneumatic de înaltă tensiune este ilustrată în Fig.2.8.

Datorită perfecționărilor, bazate în special pe cunoașterea și modelarea mai precisă a fenomenelor de comutație și pe experiența acumulată de laboratoarele

marilor firme, s-a ajuns la punerea la punct a tehnicii bazate pe principiul camerei de stingere modul, care permite realizarea unor serii unitare de aparate.

Tehnica autopneumatică a fost adoptată de constructori și acceptată de utilizatori deoarece permite obținerea unor performanțe electrice înalte, cum sunt: capacitate de deconectare la scurtcircuit atingând 63 kA, tensiune nominală de până la 800 kV, timp de deconectare de valori mici (circa 40 ms).

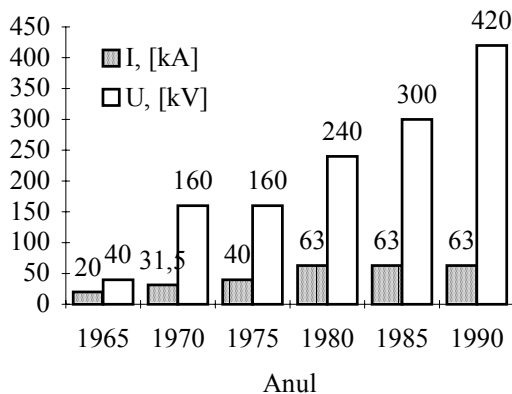
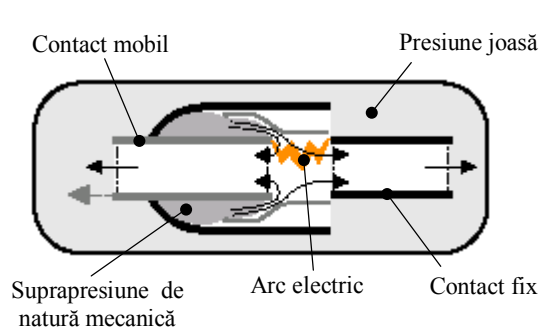


Fig.2.8

Evoluția capacității de deconectare și a tensiunii pe camera de stingere modul

**Fig.2.9**

Principiul comutației autopneumatice (autocompresie)

mobili, Fig.2.9. Aceste întrerupătoare se mai numesc cu autocompresie sau cu o singură presiune (monopresiune).

Fără a afecta performanțele, tehnica autopneumatică aduce simplificări notabile în construcția întrerupătoarelor cu hexafluorură de sulf, dintre care se menționează:

- eliminarea compresorului și a valvelor pentru comanda suflajului;
- renunțarea la sistemul de încălzire a gazului deoarece, la presiunile mai scăzute de funcționare, specifice acestei tehnici, lichefierea hexafluorurii de sulf se poate produce doar la temperaturi foarte scăzute, de -40°C .

Simplitatea constructivă, indicatorii înalți de fiabilitate, mentenabilitatea ridicată și cheltuielile de exploatare reduse fac din aparatele realizate în tehnica autopneumatică cele mai răspândite dintre cele cu comutație în hexafluorură de sulf.

Aparatele autopneumatice de înaltă tensiune cu comutație în hexafluorură de sulf sunt de tip monopolar, realizate obișnuit în variație live-tank (cu camere de stingere izolate față de pământ prin coloane electroizolante).

Pentru domeniul tensiunilor foarte înalte și al capacităților de rupere mari, se fabrică aparate de tip dead-tank, prevăzute cu anvelopă exterioară metalică, funcționând la potențialul pământului. Întrerupătoarele de medie tensiune, fără excepție, sunt realizate în construcție tripolară.

2.3.1. Întrerupătoare de înaltă tensiune

Se exemplifică tehnica autopneumatică de înaltă tensiune prin întrerupătorul tip LWE (Westinghouse Electric Corporation, SUA), având

Întrerupătoarele de putere realizate în tehnică autopneumatică funcționează cu hexafluorură de sulf la o singură presiune, având valori de 0,5...0,7 MPa.

Suflajul necesar activării stingerii arcului electric se obține la deconectare prin autocompresie, pe durata deplasării echipajului

parametrii nominali 362 kV/2000-2500-3000 A/63 kA; arhitectura unui pol este

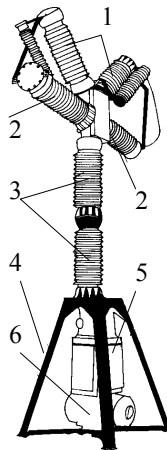


Fig.2.10
*Întreprupător autopneumatic
LWE (WEC SUA)*

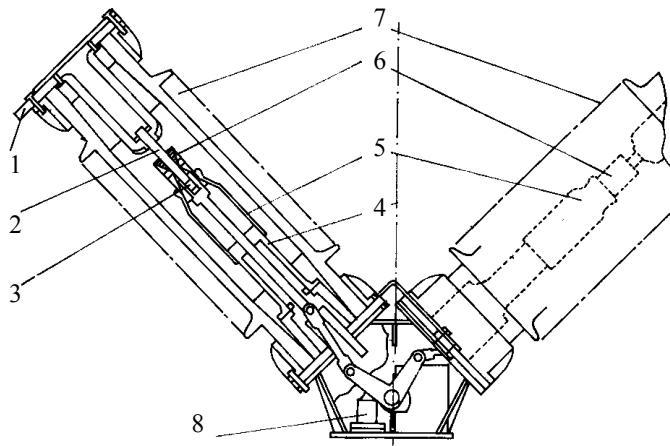


Fig.2.11
Partea activă a polului

reprezentată în Fig.2.10.

Construcția este constituită din camerele de stingere modul 1, prevăzute cu rezistoarele de șuntare 2 și din coloana electroizolantă 3; întreaga construcție este amplasată pe șasiul metalic 4, pe care se găsește și dispozitivul pneumatic de acționare 5, prevăzut cu rezervorul 6, de aer comprimat.

Partea activă a întreprupătorului, formată din camerele de stingere și sistemul de contacte, este reprezentată în Fig.2.11.

Calea de curent a unui pol conține bornele de conexiuni 1, contactele fixe 2 și contactele mobile 3.

Sistemul autopneumatic este constituit din pistonul fix 4 care acționează în interiorul cilindrului mobil 5, solidar cu contactul mobil 3; cilindrul 5 este prevăzut, în zona contactului, cu ajutorul electroizolant 6.

Construcția este protejată și etanșată în anvelopa de porțelan 7, conținând hexafluorură de sulf la presiunea de 0,5 MPa; la aceeași presiune, gazul se găsește și în coloana electroizolantă 3, Fig.2.2. Transmisia mișcării de la dispozitivul de acționare la contactele mobile se face prin intermediul tijei 2.

Funcționarea camerei de stingere în sistem autopneumatic poate fi urmărită în Fig.2.12. Cu întreprupătorul închis, conducția este asigurată prin contactul electric realizat între piesa 2 a contactului tubular fix și contactul mobil 3. Presiunea gazului, atât în interiorul cât și în exteriorul cilindrului 5, are aceeași valoare.

La deschiderea întrerupătorului, prin deplasarea tijei contactului mobil, contactele 2, 3 se separă și între ele se amorsează arcul electric de deconectare.

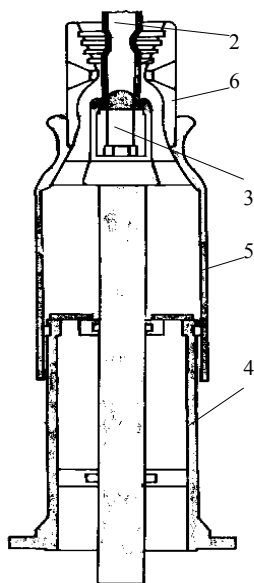


Fig.2.12

Ansamblu cameră de stingere

Simultan cu contactul mobil 3, fiind solidare cu acesta, se deplasează cilindrul 5 și ajutorul electroizolant 6.

Ca urmare, hexafluorura de sulf dintre pistonul fix 4 și cilindrul mobil 5 este comprimată, gazul fiind dirijat prin ajutorul 6, în suflaj asupra coloanei arcului. Pistonul fix 4 este prevăzut cu valve, închise pe durata deplasării la deschidere a întrerupătorului, dar care se deschid pe parcursul închiderii acestuia, astfel încât gazul de sub cilindrul mobil 5 să poată fi împropățat prin recirculare.

În timpul arderii arcului electric secțiunea transversală a acestuia depinde de valoarea instantanee a curentului care îl parcurge. La valori mari ale curentului, secțiunea transversală a coloanei arcului electric poate ocupa întreaga secțiune a duzei de suflaj, blocând astfel fluxul de gaz de răcire. Acest efect este denumit în literatura tehnică efect de «bușon», Fig.2.13.

Debitul masic de gaz de la baza duzei de suflaj este deci scăzut la valori instantanee mari, dar el crește rapid atunci când curentul scade spre zero, Fig.2.14c. Efectul de bușon este benefic datorită următoarelor motive:

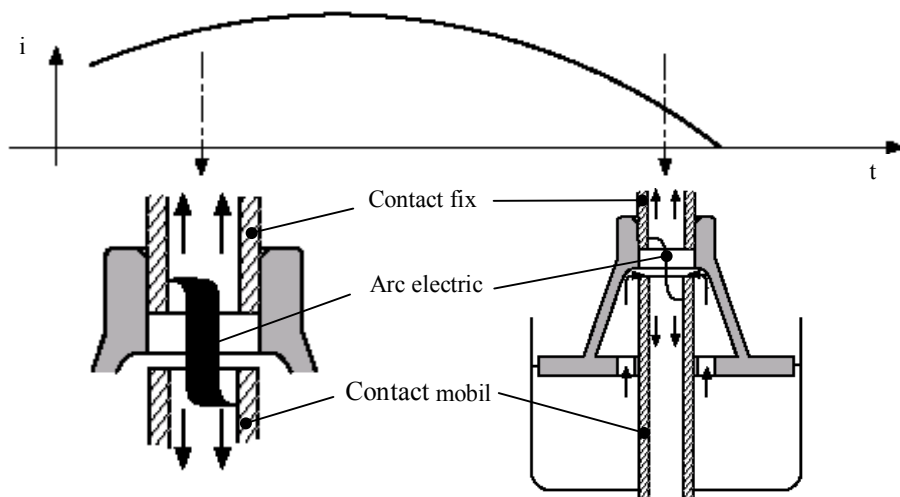
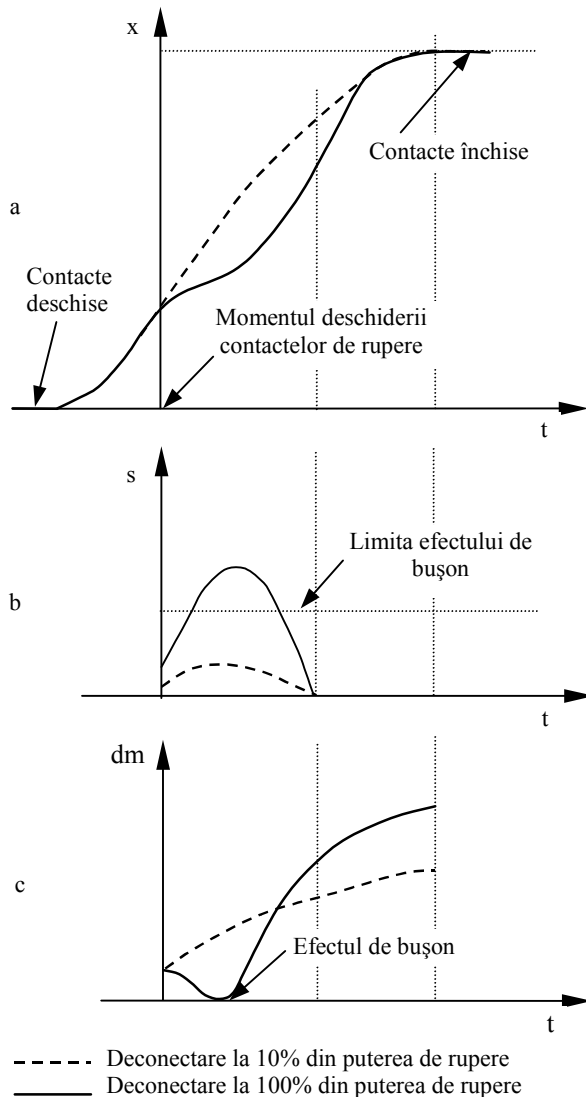


Fig.2.13

Efectul de bușon

**Fig.2.14**

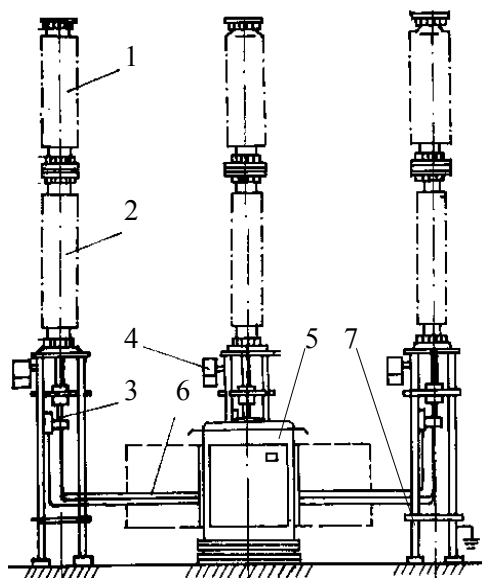
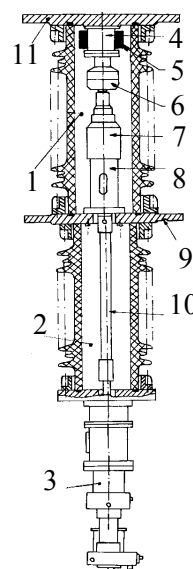
Deconectare fără și cu efect de bușon: a) cursa contactelor mobile; b) secțiunea arcului; c) debitul masic

tensiuni nominale de 72,5-145-170-420 kV, curent nominal de 2500 (3150) A și capacitate nominală de deconectare la scurtcircuit de maximum 40 kA.

- când întrerupătorul deconectează un curent mare, el păstrează inițial o cantitate de gaz în rezervă care apoi este folosită când curentul scade spre zero, realizând astfel un suflaj mai puternic decât în cazul deconectării curenților mici, Fig.2.14c. Deci, la curenți mari gazul realizează un suflaj foarte eficient, în timp ce la curenți mici debitul de gaz scăzut evită tăierea (smulgerea) curentului;

- întreruperea unui curent mare conduce la o frânare a mișcării contactelor la deconectare, Fig.2.14a. Această frânare limitează distanța dintre contacte pe durata deconectării, ceea ce duce la limitarea lungimii arcului electric și deci a energiei disipate în acesta.

Întrerupătoarele autopneumatice cu hexafluorură de sulf produse în România sunt cunoscute sub simbolizarea H07, H14, H17, H42 și se fabrică respectiv pentru gama de

**Fig.2.15***Înterupător autopneumatic tip H (România)***Fig.2.16***Construcția unui pol*

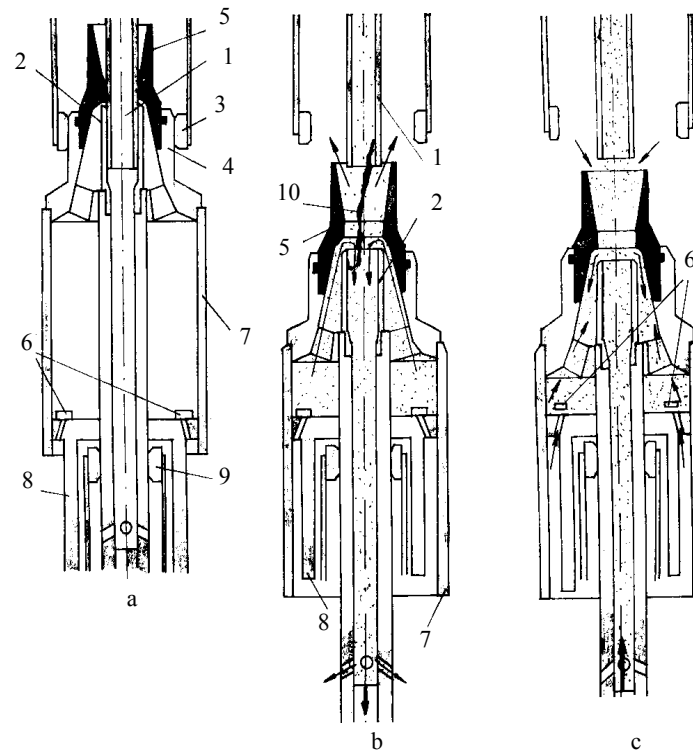
Construcția (Fig.2.15) este constituită din trei poli monocoloană identici și un mecanism de acționare cu comandă pneumatică sau oleopneumatică.

Fixarea polilor, la baza cărora sunt amplasate presostatele de control 4, se face pe suportii metalici 7. Polii se cuplează cu mecanismul de acționare 5 prin intermediul conductelor de înaltă presiune 6.

Fiecare pol este constituit din camera de stingere 1, coloana izolatorului suport 2, mecanismul întrerupător 3 și tija acestuia care, străbătând coloana 2, transmite mișcarea la contactele mobile.

Detaliile constructive ale unui pol sunt reprezentate în Fig.2.16. Hexafluorura de sulf la presiunea de 0,65 MPa, existentă în anvelopele de porțelan 1, 2, corespunzătoare camerei de stingere și respectiv izolatorului suport, realizează nivelul nominal de izolație internă.

Componentele camerei de stingere și modul de funcționare, sunt prezentate în Fig.2.17. Întrerupătorul este prevăzut cu contacte specializate, Fig.2.17a, de rupere (1-fix, 2-mobil), respectiv de lucru (3-fix, 4-mobil). Echipajul mobil este format din contactele 2, 4, conectate electric între ele, ambele solidare cu ajutorul electroizolant 5 și cilindrul metalic 7. Conducția între tija contactului mobil și borna fixă de racord se stabilește prin intermediul contactului alunecător 9. La deconectare, Fig.2.17b, echipajul mobil coboară,

**Fig.2.17**

Cameră de stingere modul realizată în tehnică autopneumatică (întrerupător tip H-România): a-întrerupător închis; b-funcționare la deconectare; c- funcționare la conectare.

arcul electric 10 fiind preluat de contactele 1, 2. Hexafluorura de sulf, comprimată între cilindrul mobil 7 și pistonul fix 8 exercită, prin ajutorul 5, un suflaj longitudinal bilateral, orientat după săgețile din desen. Valvele 6 se deschid la închiderea întrerupătorului (Fig.2.17c) și permit recircularea gazului necesar pentru suflaj, conținut în spațiul dintre cilindru 7 și pistonul 2.

Controlul presiunii se face cu presostatul 4 (Fig.2.15) care are rolul fie să semnalizeze scăderea presiunii, fie să comande blocajul general al funcționării sau deschiderea automată a întrerupătorului, dacă presiunea de lucru scade sub o valoare limită.

În realizarea acestor aparate s-a avut în vedere satisfacerea cerințelor privind reducerea suprafeței ocupate în instalații, toate fiind testate pentru a suporta solicitări seismice severe. Izolatoarele de trecere, de tip transformator de

curent, contribuie la micșorarea gabaritelor și oferă importante facilități pentru rezolvarea optimizată a instalațiilor de protecție prin relee.

2.3.2. Întrerupătoare de generator

Tehnica autopneumatică în hexafluorură de sulf a permis dezvoltarea construcțiilor de întrerupătoare pentru generator care, deși funcționează la medie tensiune, se caracterizează prin valori foarte mari ale curentului nominal și ale capacității de deconectare la scurtcircuit.

În configurație tradițională funcționarea unui bloc generator-transformator (Fig.2.18a) necesită, pentru operațiile de pornire sau oprire a generatorului, un transformator suplimentar T_3 prin care se face alimentarea, din sistem sau de la o rețea separată, a serviciilor interne. După atingerea turației de sincronism, generatorul este conectat la sistem prin echipamentele de pe partea de înaltă tensiune a transformatorului principal T_1 . Alimentarea stației este apoi trecută de pe transformatorul de pornire T_3 , pe transformatorul de serviciu T_2 .

După cum se indică în Fig.2.18b, încorporarea, între generator și transformatorul T_1 a întrerupătorului de generator I_g , permite circulația de putere, la pornirea sau oprirea grupului, direct prin transformatoarele T_1 , T_2 .

Utilizarea întrerupătoarelor de generator conduce la simplificarea funcțiilor operative în centrală (aranjament logic și simplu al întrerupătorului în circuitul principal al generatorului, reducerea numărului de manevre pe durata operațiilor de pornire-oprire, definirea clară a responsabilității manevrelor în centrală și în sistemul de înaltă tensiune), îmbunătățirea protecției generatorului și a transformatoarelor T_1 , T_2 (Fig.2.18b), creșterea securității și disponibilității centralei.

Protecția la scurtcircuit a generatorului este asigurată de întrerupătoarele de pe partea de înaltă tensiune a transformatorului

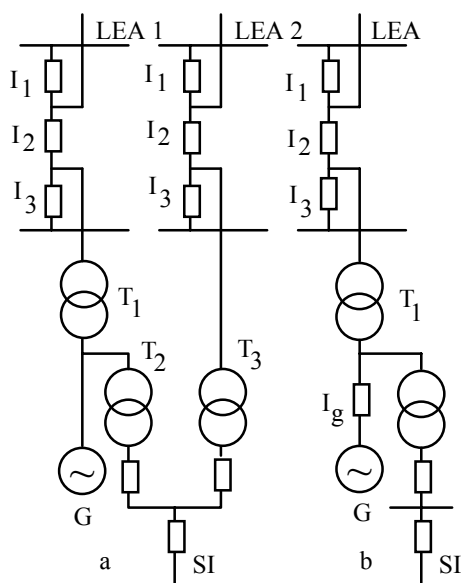
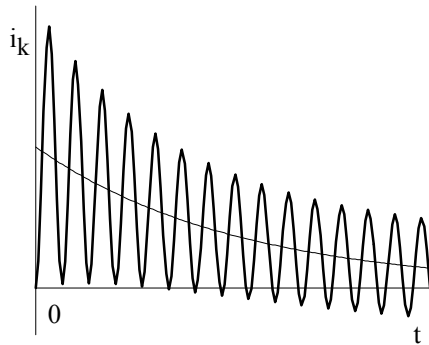


Fig.2.18

Scheme de conectare la sistem: a-bloc generator-transformator fără întrerupător de generator; b-cu întrerupător de generator.

**Fig.2.19**

Întârzierea momentului primei anulări a intensității curentului de scurtcircuit

principal T_1 sau de întrerupătorul de generator I_g .

Întreruperea defectelor și dezexcitarea generatorului trebuie să fie oricât de rapide, pentru a se preveni defectările grave ale instalației.

Funcționarea protecției trebuie totuși să țină seama de posibile întârzieri, uneori substanțiale (zeci de semiperioade, Fig.2.19) ale momentului primei anulări a intensității curentului de scurtcircuit produse ca urmare a suprapunerii peste componenta de curent alternativ a unei componente continue de valori mari (dependente, la

rândul ei, de raportul X/R dintre reactanța generatorului și rezistența statorului).

Numai dacă rezerva de stabilitate termică a instalației permite, regimul dificil de deconectare impus întrerupătorului în acest caz poate fi evitat printr-o temporizare adecvată a momentului separării contactelor acestuia. În mod obișnuit se utilizează întrerupătoare de generator caracterizate printr-o creștere rapidă și la valori mari a rezistenței arcului electric, fapt care conduce la micșorarea constantei de timp a circuitului și la forțarea anulării rapide a intensității curentului.

Un întrerupător de generator îndeplinește următoarele funcții:

- operații de comutație în regimuri normale, între generator și sistem;
- operații de comutație la conectarea în paralel, chiar fără îndeplinirea condițiilor de fază;
- întreruperea curenților de scurtcircuit la defecte în zona generatorului;
- întreruperea curenților de scurtcircuit la defecte în sistem.

În hidrocentralele cu acumulare prin pompare și în instalații cu turbine cu gaz, întrerupătorul de generator trebuie să execute de asemenea operațiile de comutație specifice sincronizării generatorului funcționând în regim de electromotor și să întrerupă curenți de scurtcircuit la frecvențe mai mici de 50 Hz.

Întrerupătoarele de generator tradiționale au funcționat cu comutație în aer comprimat ajungând în anii 1970, odată cu introducerea grupurilor de 1200 MW, la curentul nominal de 50 kA, căruia îi corespunde o capacitate de deconectare la scurtcircuit de 275 kA. Proprietățile deosebite ale hexafluorurii de sulf au impus, în următorul deceniu, acest mediu și în construcția echipamentului de comutație pentru generatoare.

În funcție de tipul centralei și al generatorului, puterea unitară furnizată la tensiuni de 16...24 kV, variază între limitele 600...1650 MW; la aceste puteri, curentul de regim normal care traversează un întrerupător de generator poate avea intensitatea în domeniul 10...50 kA.

Curenții de scurtcircuit au intensități de ordinul 50...180 kA. Aceste condiții grele de exploatare, în care solicitarea complexă (regimurile termice, electrodinamice, procesele fizice și chimice care afectează starea contactelor și a componentelor camerei de stingere etc.) este deosebit de intensă, impun soluții constructive speciale.

Asigurarea regimurilor termice nominale pentru căile conductoare necesită mijloace suplimentare de răcire, aceasta făcându-se, la variantele construite, prin convecție forțată.

Regimul de lucru al contactelor, dependent de rezistența de contact, impune valori oricât de mici (microohmi) pentru aceasta, care pot fi obținute doar cu materiale având caracteristici adecvate, din care se confecționează piese de contact cu suprafețe mărite. Stingerea eficientă a arcului electric traversat de curenți foarte mari presupune, de asemenea, creșterea diametrelor ajutărilor de suflaj.

În Fig.2.20 se dă un exemplu de întrerupător cu autocompresie pentru

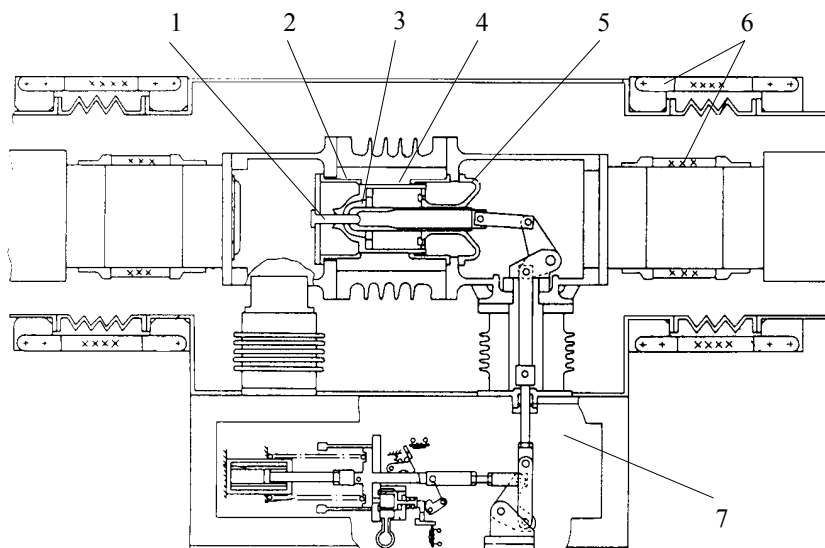


Fig.2.20

Întrerupător de generator (Mitsubishi Japonia): 1-contact fix de rupere; 2-contact fix de lucru; 3-contact mobil; 4-cilindru; 5-piston; 6-conexiuni flexibile; 7-mecanism de acționare.

generator, fabricat de firma Mitsubishi Japonia; acesta este capabil să întrerupă un curent de defect de 110 kA și să suporte sarcini de regim normal cu intensități de până la 13 kA doar cu răcire prin convecție naturală și de până la 25 kA cu convecție forțată de aer.

2.3.3. Întrerupătoare de medie tensiune

Instalațiile de distribuție de medie tensiune reprezintă de asemenea un domeniu larg de aplicare a tehnicilor de comutație în hexafluorură de sulf; un loc important între acestea îl ocupă tehnica autopneumatică. Spre deosebire de construcțiile de înaltă tensiune, întrerupătoarele de medie tensiune sunt realizate în variantă tripolară, acționarea obținându-se cu mecanism unic.

Există o mare varietate de astfel de echipamente, numărul lor fiind în creștere, în detrimentul tehnicilor tradiționale. Acest aspect este evidențiat în Fig.2.21, unde este reprezentată repartitia procentuală, după Schneider Electric, a întrerupătoarelor de medie tensiune produse și vândute în Europa, în ultimele două decenii.

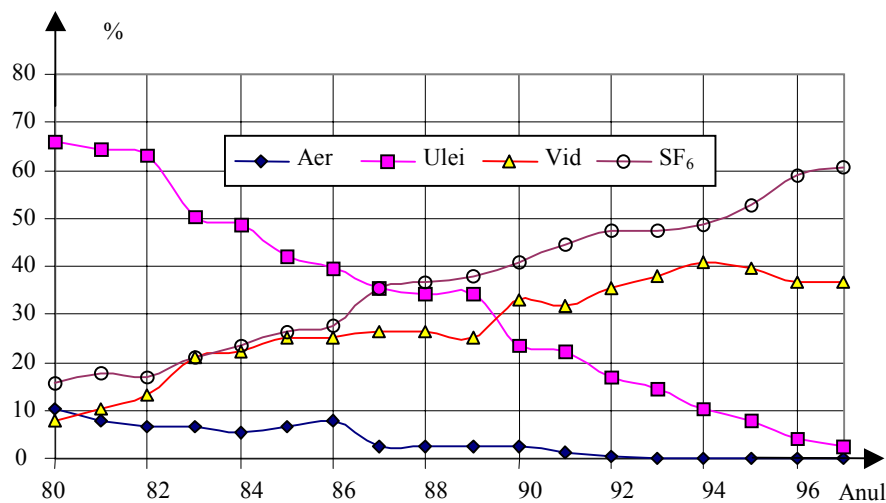


Fig.2.21

Evoluția pieței întrerupătoarelor de MT în Europa

Din totalul întrerupătoarelor de medie tensiune, o mare parte o reprezintă cele autopneumatice, cu mențiunea că există și aparate realizate în alte tehnici (suflaj magnetic, autoexpansiune, tehnici combinate etc.).

Firma Schneider Electric (Merlin Gerin) a dezvoltat o întreagă gamă de echipamente de medie tensiune cu comutație în hexafluorură de sulf, un loc important ocupându-l aparatele realizate în tehnica autopneumatică. Dintre acestea fac parte și întrerupătoarele tripolare de interior tip Fluarc FG2, utilizate în principal pentru manevre și protecție în rețele de distribuție publice și industriale cu tensiuni nominale de la 1 la 17,5 kV; aparatele se construiesc în variantă fixă și debroșabilă, cu intensitatea curentului nominal în gama 630...3150 A și capacitatea nominală de deconectare la scurtcircuit de 40...50 kA. Pentru acționare, întrerupătoarelor le sunt asociate dispozitive cu acumulare de energie în resorturi.

Schița unui aparat tip FG2 debroșabil, cu dimensiunile principale, este dată în Fig.2.22.

Construcția camerei de stingere (Fig.2.23), este închisă în anvelopa electroizolantă 1, prevăzută cu capace frontale de etanșare, în care hexafluorura de sulf se găsește la presiuni scăzute, de 0,15...0,25 MPa.

Calea principală de curent a polului este constituită din bornele de conexiune 2 și contactele de lucru, 3-mobil și 4-fix. În paralel cu calea

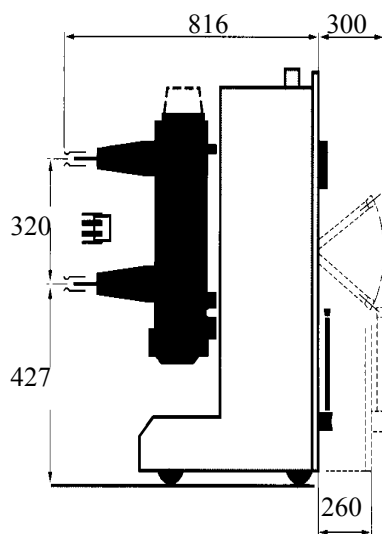


Fig.2.22

*Întrerupător debroșabil FG2
Merlin Gerin*

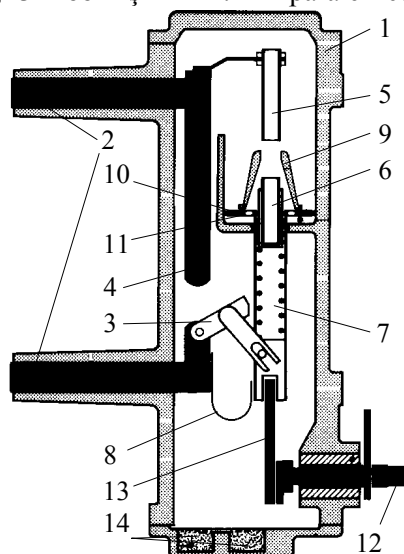


Fig.2.23

*Polul întrerupătorului FG2
Merlin Gerin*

principală de curent este conectat traseul de rupere, format din contactele de rupere (5-fix, 6-mobil), tija conductoare 7 și conexiunea flexibilă 2.

Sistemul de suflaj autopneumatic este constituit din ajutorul electroizolant 9, 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, 6, 7, 9, 10), prin intermediul pârgheii electroizolante 13.

Înterupătoarele de medie tensiune cu autocompresie de tip Fluarc fabricate de Merlin Gerin, sunt utilizate și în construcția celulelor prefabricate de tip Fluair, destinate posturilor de transformare pentru instalații de distribuție cu tensiuni nominale de 1...40 kV. Instalații similare sunt produse și de firma ABB.

În România, SC Electroputere SA fabrică întrerupătoare cu autocompresie de medie tensiune de interior tip HF 12/24 kV, destinate centralelor electrice, stațiilor de transformare și instalațiilor de distribuție. Aceeași firmă produce contactoarele electromagnetice tripolare de medie tensiune cu comutație în gaz SF₆ de tip HEXA CONT, utilizabile în instalațiile de comandă a electromotoarelor de înaltă tensiune, transformatoarelor și bateriilor de condensatoare.

Înterupătoarele cu hexafluorură de sulf realizate în tehnica autopneumatică au dimensiuni de gabarit mai mici și nu necesită o întreținere deosebită.

Reviziile acestor echipamente se fac cu o periodicitate de câțiva ani, de fiecare dată examinându-se componentele constructive ale sistemului de contacte, garniturile de etanșare împotriva scurgerilor de gaz SF₆ și înlocuindu-se filtrele sau sitele moleculare.

2.4. Întrerupătoare cu suflaj magnetic

La întrerupătoarele cu hexafluorură de sulf realizate în tehnica pneumatică sau autopneumatică arcul electric de deconectare este supus unui suflaj cu gaz sub presiune, în măsură să producă răcirea coloanei acestuia prin evacuarea căldurii în afara volumului camerei de stingere. Arcul electric este practic fixat între contacte în timp ce hexafluorura de sulf, ca mediu de stingere, se deplasează pe seama diferențelor de presiune.

Principiul de stingere pe care se bazează funcționarea întrerupătoarelor cu suflaj magnetic constă în deplasarea rapidă a arcului electric într-un volum închis de hexafluorură de sulf, aflat inițial în repaus, Fig.2.24. În acest caz, mediul de stingere este practic fix iar coloana arcului electric, sub acțiunea unor forțe de tip Lorentz, se deplasează cu viteze comparabile cu cea a sunetului.

Câmpul magnetic necesar punerii în mișcare a coloanei arcului este produs de o bobină

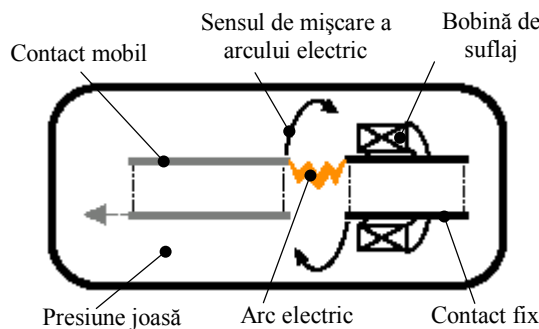


Fig.2.24

Principiul comutației prin suflaj magnetic (arc de rotație)

parcursă de curent pe durata deconectării sau de magneți permanenți amplasați în zona contactelor, energia necesară suflajului fiind deci furnizată de o sursă exterioară. Suflajul magnetic se obține în sistem coaxial, respectiv axial.

În cazul sistemului coaxial, Fig.2.25a, arcul electric amorsat la deconectare inițial între contactele 1-fix și 2-mobil, este imediat preluat între electrozii 1, 3, astfel încât curentul care trebuie întrerupt să traverseze spirele bobinei de suflaj 4.

În câmpul magnetic al acestei bobine, forțele de tip Lorentz imprimă coloanei arcului o mișcare rapidă de rotație, dispunând-o sub forma unei elicoide spațiale, cu extremitățile mobile pe electrozii coaxiali 1, 3.

Alungirea coloanei favorizează cedarea căldurii spre mediul de stingere, iar deplasarea rapidă a acesteia intensifică deionizarea prin difuzie.

La sistemul axial de suflaj magnetic (rotary-arc circuit breaker) contactele întrerupătorului (atât cele de lucru, 1-fix, 2-mobil cât și cele de rupere, 3-fix, 4-mobil) sunt inelare și amplasate față în față pe aceeași axă, așa

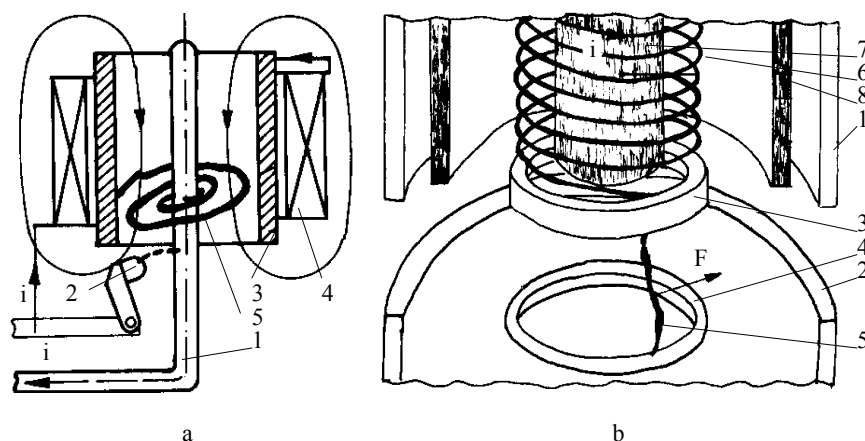


Fig.2.25

Tehnica suflajului magnetic: a-sistem coaxial; b-sistem axial.

cum se poate vedea în Fig.2.25b.

Arcul electric 5, preluat între contactele de rupere 3, 4, arde în câmpul magnetic produs de bobina de suflaj 6, parcursă de curent. Liniile de câmp se închid prin piesa polară 7 și mantaua feromagnetică 8, trasee care le imprimă o distribuție radială în zona de ardere a arcului electric. În aceste condiții, forțele Lorentz au orientare tangențială, încât coloana 5 a arcului electric este antrenată într-o mișcare rapidă de rotație (arc turnant, rotating arc), deplasându-se cu extremitățile pe contactele circulare 3, 4.

Pe lângă simplitate constructivă, întrerupătorul cu suflaj magnetic se caracterizează printr-o slabă electroeroziune a contactelor deoarece, ca urmare a deplasării extremităților arcului electric, temperatura înaltă nu se mai localizează în zone practic fixe pe suprafețele de contact.

Distanța dintre contacte, dependentă de nivelul nominal de izolație și de presiunea statică a hexafluorurii de sulf, rezultă mai mică decât la întrerupătoarele realizate în tehnică autopneumatică, energia necesară acționării având valori de asemenea mai mici. Aceste particularități permit dimensionarea, realizarea și funcționarea în condiții avantajoase a mecanismului de acționare.

Se exemplifică tehnica suflajului magnetic (sistem axial sau arc turnant) în gaz SF_6 prin echipamente de medie tensiune construite de firma Merlin Gerin

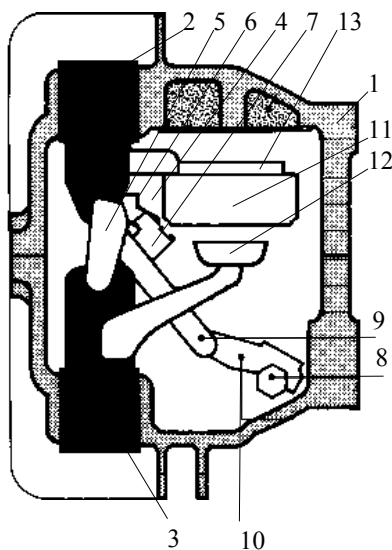


Fig.2.26

*Întrerupător cu suflaj magnetic
Fluarc FG1 Merlin Gerin*

și anume: întrerupătoarele Fluarc FG1 (1...15 kV/630...1250 A/20...29 kA) și contactoarele tip Rollarc 400, 400D (3...12 kV/400 A).

Partea activă a întrerupătorului FG1, construit în variantă debroșabilă, este reprezentată în Fig.2.26. Aceasta este etanșată în incinta electroizolantă 1, în care hexafluorura de sulf se găsește la presiunea de 0,25 MPa.

Calea principală de curent pe pol este constituită din bornele de conexiuni 2, 3 și din contactele de lucru (4-fix, 5-mobil); în paralel cu contactele de lucru este conectat sistemul contactelor de rupere, 6-fix, 7-mobil.

Transmisia mișcării la contactele mobile se face de la arborele motor 8, prin intermediul sistemului bielă electroizolantă (9) - manivelă (10).

Pentru protecție la electroeroziune, contactele de lucru se deschid în avans față de cele de rupere, încât arcul electric se amorsează între acestea din urmă; imediat extremitățile coloanei sale sunt preluate de electrozii inelari 11, 12, conectați respectiv la potențialele contactelor de rupere 6, 7. În acest moment în circuitul curentului care trebuie întrerupt este înseriată bobina de suflaj magnetic 13 care produce, în zona de ardere a arcului, câmpul magnetic specific tehnicii suflajului magnetic.

Fiind obișnuit folosite în rețelele de distribuție publice și industriale, întrerupătoarele tip FG1 sunt adaptate cu deosebire la întreruperea curenților mici inductivi.

Întrerupătoarele cu suflaj magnetic întrunesc o serie de avantaje importante, dintre care se menționează simplitatea constructivă, siguranța în funcționare și utilizarea practic fără mentenanță, la care se adaugă eroziunea redusă a pieselor de contact și energia mecanică de nivel scăzut necesară pentru acționare. Toate acestea conferă tehnicii de comutație cu suflaj magnetic în hexafluorură de sulf o pronunțată performabilitate, apreciată uneori ca depășind cerințele actuale și de perspectivă apropiată din rețelele de distribuție de medie tensiune.

2.5. Întrerupătoare cu autoexpansiune

De mai bine de un deceniu și jumătate, întrerupătoarele cu autoexpansiune (self-blast circuit breakers) funcționează cu bune rezultate în rețele de distribuție și de transport al energiei electrice din multe țări. Pentru diferite aplicații, în acest interval de timp, au fost dezvoltate în principal trei tipuri; două dintre acestea și anume întrerupătoarele cu suflaj prin autoexpansiune cu arc rotativ, respectiv cu rezonator Helmholtz sunt construite pentru instalații de medie tensiune, ca întrerupătoare de generator sau pentru rețele de distribuție.

În cazul celui de al treilea tip, care se referă la construcții pentru tensiuni de peste 72,5 kV (întrerupătoare de înaltă tensiune), suflajului prin autoexpansiune i se asociază o componentă obținută prin autocompresie, care intervine numai la întreruperea curenților de mică intensitate. Pentru întreruperea curenților de scurtcircuit și, în general a curenților de mare intensitate, funcționează numai suflajul prin autoexpansiune, energia arcului producând creșterea presiunii hexafluorurii de sulf într-un volum închis.

Statisticile privind defectările întrerupătoarelor de înaltă tensiune arată că nu parametrii electrici ai acestora sunt decisivi în asigurarea fiabilității, ci comportarea sistemului mecanic în general și a mecanismului de acționare în special.

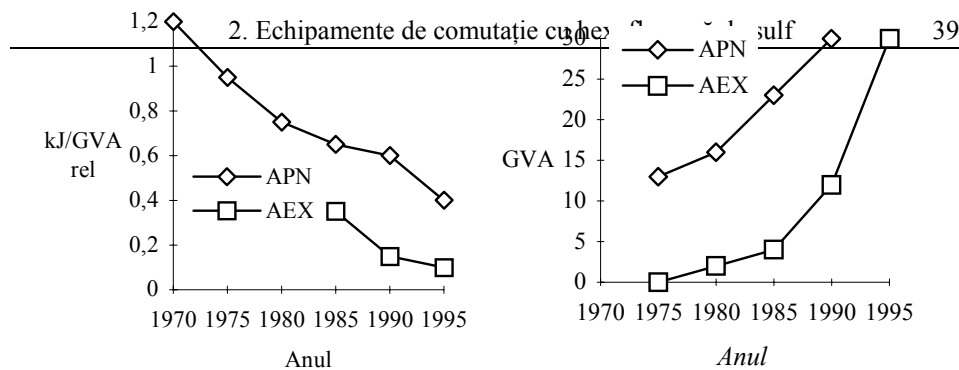


Fig.2.27

Evoluția energiei mecanismului de acționare

Fig.2.28

Puterea de rupere

Mecanismul de acționare al întrerupătoarelor cu autoexpansiune, eliberat de sarcina producerii presiunii necesare suflajului, este mult mai puțin solicitat, fapt care conduce la creșterea indicatorilor generali de fiabilitate. Ilustrative în acest sens sunt datele din Fig.2.27 care indică evoluția, exprimată în unități relative, a energiei necesare mecanismului de acționare pentru realizarea puterii de rupere unitare în cazul întrerupătoarelor autopneumatice (APN) respectiv cu autoexpansiune (AEX).

Dezvoltarea tehnicilor de comutație în hexafluorură de sulf cu suflaj prin autoexpansiune a căpătat în ultimul deceniu caracter competițional, în special cu privire la atingerea performanțelor de natură electrică. În Fig.2.28 este prezentată pentru comparație, dinamica puterii de rupere caracterizând întrerupătoarelor cu autocompresie, APN respectiv cu autoexpansiune, AEX.

În camerele de stingere ale acestor întrerupătoare suflajul cu hexafluorură de sulf se obține prin dilatarea gazului sub acțiunea căldurii cedate la temperatura înaltă de coloana arcului electric însăși.

Acest principiu conduce la simplificarea construcției dispozitivelor de stingere din care se elimină acțiunea pistonului, util pentru comprimarea gazului în tehnica autopneumatică.

În camera de stingere (Fig.2.29a) coloana arcului este instabilă, aceasta ocupând rapid poziția 6, sub formă de buclă la exteriorul contactului, unde eficiența suflajului este foarte redusă.

Problema se rezolvă prin ghidarea arcului electric, astfel încât acesta să ocupe o poziție cât mai apropiată de axa camerei de stingere. Ghidarea se poate face mecanic (Fig.2.29b), prin utilizarea duzei electroizolante 7 sau pe cale magnetică (Fig.2.29c), cu ajutorul bobinei sau a magnetului permanent 2.

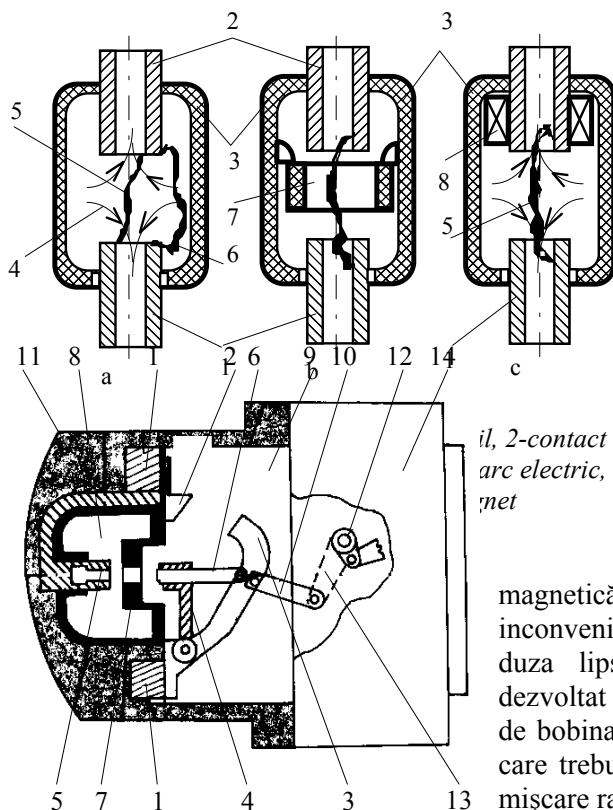


Fig. 2.30

Înterupător cu autoexpansiune

aproape uniform pe acestea, creșterea de temperatură este redusă și intensitatea electroeroziunii scăzută. Transferul de energie spre hexafluorura de sulf din incinta camerei de stingere atinge în acest caz pînă la 25% din energia coloanei arcului, fapt care permite creșterea capabilității de întrerupere. Construcția camerei de stingere care echiipează un întrerupător cu hexafluorură de sulf funcționând cu autoexpansiune și ghidare a arcului electric prin duză electroizolantă este prezentată în Fig. 2.30. Calea de curent este constituită din bornele de conexiuni 1, contactele de lucru (2-fix, 3-mobil) și contactele de rupere (5-fix, 6-mobil). La deschiderea întrerupătorului, mișcarea se transmite de la axul 12 al mecanismului de acționare 14, prin sistemul de pârghii 10, 13, la echipajul mobil. Contactele de rupere 5, 6 se deschid după contactele de lucru 2, 3, astfel încât arc electric se amorsează în camera de stingere 8, între contactele de rupere. Atîta timp cît contactul 6 obturează duza 7, sub acțiunea temperaturii înalte a arcului electric presiunea gazului din incinta 8 crește. Din

Prima soluție este foarte răspândită și relativ simplă, dar prezintă cîteva inconveniente, dintre care se menționează:

- căldura cedată de coloana arcului spre gazul SF_6 este redusă doar la 15% din energia totală;
- prezența duzei electroizolante produce perturbarea câmpului electric;
- electroeroziunea intensă a suprafețelor de contact.

Ghidarea magnetică atenuează aceste inconveniente deoarece în acest caz duza lipsește, iar arcului electric, dezvoltat în câmpul magnetic produs de bobina traversată chiar de curentul care trebuie întrerupt, i se imprimă o mișcare rapidă de rotație.

Din aceste motive energia cedată suprafețelor de contact se repartizează

momentul eliberării acestei duze, coloana arcului este supusă unui suflaj longitudinal unilateral, detenta gazului SF_6 producându-se în incinta 9.

Destinat instalațiilor de medie tensiune, întrerupătorul este realizat în construcție tripolară, cele trei camere de stingere fiind înglobate în anvelopa unică 11, din rășină epoxidică. Spre deosebire de tehnica autopneumatică, întrerupătoarele cu autoexpansiune pot fi considerate ca echipamente cu comutație lină, energia necesară suflajului fiind furnizată de arc electric însăși; din acest punct de vedere, funcționarea se aseamănă cu cea întâlnită la întrerupătoarele cu ulei.

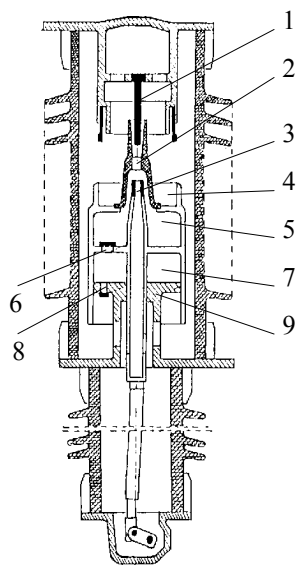
De la începutul actualului deceniu, o nouă generație de întrerupătoare cu hexafluorură de sulf a fost realizată, prin asocierea avantajelor întrerupătoarelor cu autoexpansiune, celor care caracterizează tehnica autopneumatică; această tehnologie hibridă, funcționând cu autoexpansiune asistată de autocompresie, a permis reducerea substanțială a energiei necesare pentru acționare, cu efecte benefice asupra indicatorilor de fiabilitate.

Principiul comutației prin autoexpansiune asistată de autocompresie este ilustrat în Fig.2.31. Suflajul necesar întreruperii curenților de mare intensitate este obținut în principal prin expansiunea termică a gazului conținut în volumul constant 5, încălzit de arc.

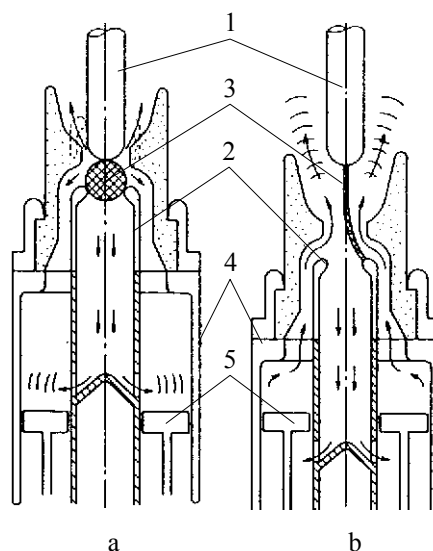
Un suflaj autopneumatic suplimentar, utilizând gazul comprimat la deconectare în volumul 7 (descrescător pe măsura deplasării contactului mobil), se exercită la întreruperea curenților de mică intensitate, când autoexpansiunea este slabă. Valva 6 a cilindrului mobil se deschide la începutul deplasării echipajului mobil și rămâne deschisă atâta timp cât presiunea în volumul constant 5 este excedată de presiunea din volumul 7. Valva 8 a pistonului fix se deschide dacă presiunea în volumul 7 depășește o valoare reglată.

Comparativ cu tehnica autopneumatică, întrerupătoarele de acest tip necesită un piston de dimensiuni reduse, fapt care permite micșorarea energiei necesare pentru acționare.

Un alt exemplu de concretizare a acestei idei este prezentat în Fig.2.32. În faza incipientă a deconectării (Fig.2.32a), gazul SF_6 încălzit de arc electric 3 este parțial retrimis în volumul dintre cilindrul mobil 4 și pistonul fix 5, contribuind la creșterea presiunii în acest spațiu. În faza finală (Fig.2.32b), presiunea crescută a gazului care exercită suflajul compensează o oarecare scădere a capacității sale de răcire (datorată temperaturii mai ridicate), obținându-se o creștere a capacității de deconectare la scurtcircuit cu circa 20%.

**Fig.2.31**

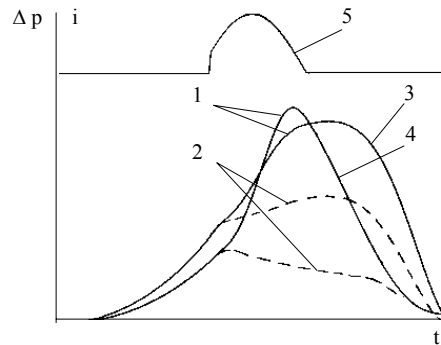
Autoexpansiune asistată de autocompresie: 1-contact fix; 2-ajutaj principal; 3-contact mobil; 4-cilindru; 5-volum constant; 6-valva cilindrului; 7-volum comprimabil; 8-valva pistonului; 9-piston.

**Fig.2.32**

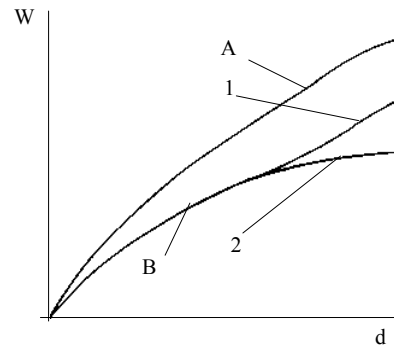
Principiul tehnicii hibride de comutație în SF₆: a-faza incipientă a deconectării; b-faza finală; 1-contact fix; 2-contact mobil; 3-arc electric; 4-cilindru mobil; 5-piston fix.

În alte construcții de acest tip se utilizează un piston recuperator prin intermediul căruia se obține creșterea energiei disponibile pentru acționare. În Fig.2.33 sunt reprezentate curbele suprapresiunii dezvoltate în camera de stingere pe durata deconectării, în cazul unui întrerupător autopneumatic (curba1), respectiv hibrid (curba2). Se evidențiază că, în ipoteza funcționării la gol (curbele 2), energia necesară pentru comprimarea gazului are valori mai mari la întrerupătoarele autopneumatice. Întrerupătoarele cu autoexpansiune asistată de autocompresie, necesitând un piston de diametru redus, consumă mai puțin de o treime din energia necesară în cazul acționării unui întrerupător autopneumatic.

Extinderea tehnicii hibride de comutație la tensiuni superioare presupune rezolvarea problemei creșterii importante a energiei cinetice a echipajului mobil, care poate fi acoperită însă parțial de energia înmagazinată sub formă de căldură în coloana arcului.

**Fig.2.33**

*Suprapresiunea la deconectare:
1-acționare în sarcină; 2-acționare la
gol; 3-autocompresie;
4-autoexpansiune asistată de
autocompresie; 5-curba curentului.*

**Fig.2.34**

*Energia necesară pentru deconectare
(GEC Alsthom):
A-tehnică autopneumatică;
B-autoexpansiune cu recuperare de
energie; 1-acționare în sarcină;
2-acționare la gol.*

Există soluții tehnice care permit utilizarea optimizată a acestei energii, pe de o parte pentru obținerea suflajului prin autoexpansiune, iar pe de altă parte pentru accelerarea echipajului mobil al întrerupătorului.

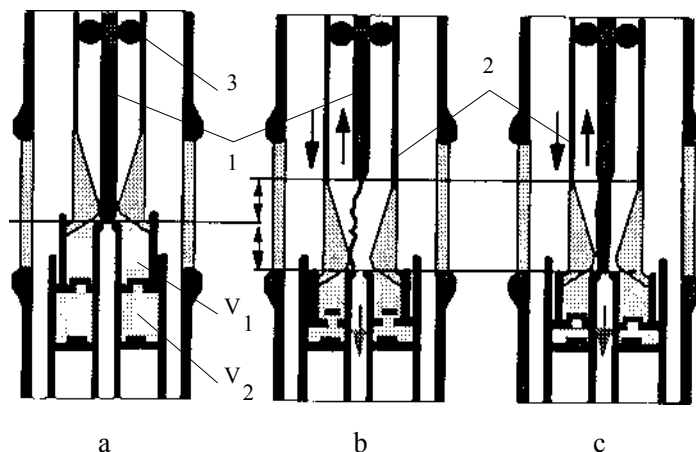
Un astfel de dispozitiv, pus la punct de GEC Alsthom, permite reducerea cu circa 30% a energiei necesare pentru acționare (Fig.2.34); acesta a permis construcția întrerupătoarelor tip FXT 14 (245 kV-31,5 kA) cu o singură cameră de stingere modul pe pol.

Asocierea efectului termic al arcului electric pentru obținerea expansiunii hexafluorurii de sulf cu autocompresia acesteia este utilizată și în realizarea întrerupătoarelor destinate celulelor blindate, în special când este vorba de construcții cu parametri electrici ridicați, de exemplu 300 kV/50 kA și un singur loc de întrerupere pe pol (cameră de stingere modul unică).

În acest caz utilizarea tehnicii hibride, autoexpansiune-autocompresie, este avantajoasă cu deosebire în ceea ce privește minimizarea energiei disponibile a mecanismului de acționare.

În Fig.2.35 se prezintă un exemplu de acest tip, conceput în vederea obținerii unei viteze sporite de alungire a coloanei arcului electric la deconectare.

Soluția tehnică utilizată constă într-un sistem special de contacte, Fig.2.35a, având ambele elemente (1, 2) mobile. La deconectare, prin intermediul angrenajului 3, acestea se deplasează cu aceeași viteză în sensuri opuse, încât viteza de alungire a arcului electric practic se dublează.

**Fig.2.35**

*Creșterea vitezei relative de deplasare a contactelor:
a-întrerupător închis; b-întreruperea curenților de mică
intensitate; c-întreruperea curenților de scurtcircuit.*

La întreruperea curenților de mică intensitate (Fig.2.35b) creșterea presiunii în camera de stingere pe seama energiei arcului este redusă.

Stingerea arcului are loc în principal sub acțiunea suflajului produs prin autocompresia gazului din volumul V_2 . În cazul deconectării unui curent de scurtcircuit, Fig.2.35c, energia înaltă a arcului electric produce un puternic efect de expansiune a gazului din volumul V_1 , care se repartizează între exercitarea suflajului și suplimentarea energiei necesare pentru acționare.

Întrerupătoarele cu autoexpansiune s-au impus în comutația de putere prin avantaje specifice: energie de acționare redusă, absența supratensiunilor de comutație, insensibilitate la viteza de creștere a tensiunii de străpungere în camera de stingere, funcționare corespunzătoare la întreruperea curenților capacitivi, electroeroziune slabă a contactelor.

2.6. Instalații capsulate cu izolație în hexafluorură de sulf

Ideea de bază a realizării instalațiilor capsulate izolate în gaz SF_6 constă în închiderea întregului echipament conectat la barele unei stații într-o incintă metalică etanșă și izolarea acestuia în hexafluorură de sulf. Prin proprietățile sale electroizolante excepționale, acest gaz permite o reducere importantă a distanțelor de izolație și deci a dimensiunilor de gabarit ale stației.

Începând cu anii 1960, data primelor realizări de acest gen în Japonia și Europa, concepția instalațiilor capsulate în gaz SF_6 a cunoscut o evoluție

continuă și notabilă, dimensiunile și solicitările funcționale fiind permanent reduse, simultan cu creșterile înregistrate în indicatorii de fiabilitate și facilitățile de exploatare.

În ceea ce privește terminologia, pe lângă denumirea de instalații capsulate în hexafluorură de sulf sunt utilizate noțiunile de celule blindate, stații (posturi) de înaltă tensiune etanșate metalic (postes haute tension sous enveloppe métallique, PSEM) respectiv instalații de comutație cu izolație în gaz (Gas Insulated Switchgear, GIS).

Construcția și introducerea în exploatare a instalațiilor capsulate, izolate cu hexafluorură de sulf, răspund următoarelor cerințe:

a) Necesitatea transportului energiei electrice la tensiuni înalte până în centrele de consum (orașe, întreprinderi industriale etc.), cu respectarea restricțiilor impuse privind reducerea accentuată a suprafețelor ocupate cu echipament.

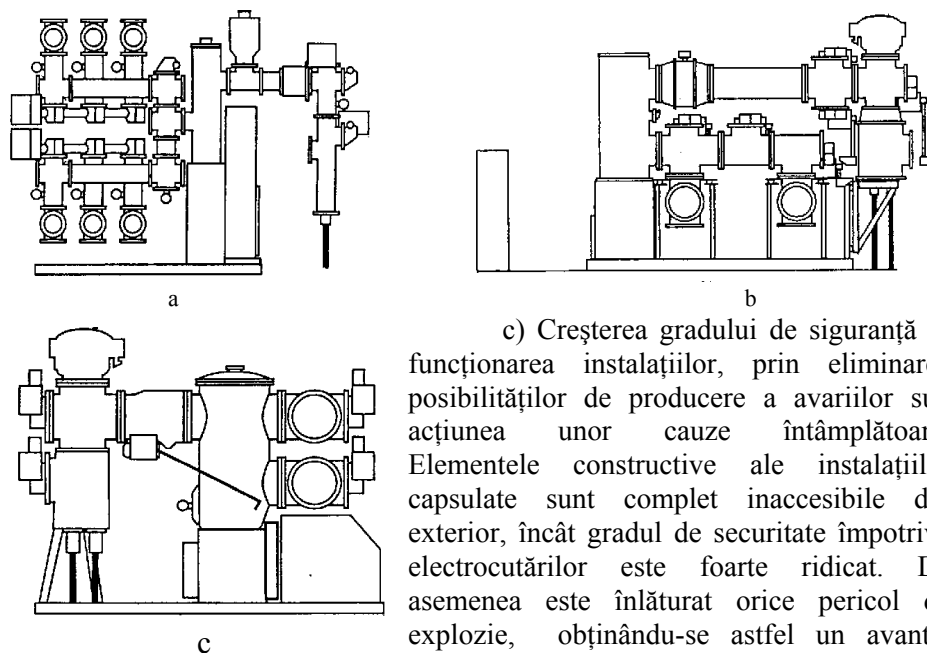
Folosirea tensiunilor înalte pentru transportul energiei electrice până la consumatori prezintă considerabile avantaje economice, constând în economisirea unor însemnate cantități de metale neferoase (cupru, aluminiu) care altfel ar trebui consumate pentru realizarea instalațiilor de distribuție de medie tensiune.

În tehnica tradițională, stațiile de transformare sau de conexiuni de înaltă tensiune ocupă un spațiu mult mai mare decât cele de medie tensiune, datorită necesității asigurării distanțelor de izolație în aer între elementele constructive funcționând la potențiale diferite.

O instalație de înaltă tensiune realizată în variantă capsulată cu izolație în hexafluorură de sulf ocupă circa 10...20% din suprafața unei stații tradiționale de tip deschis, îmbinând astfel avantajele injectiei de putere la tensiune înaltă cu cele care decurg din reducerea substanțială a suprafeței ocupate cu echipament.

b) Limitarea și chiar eliminarea solicitărilor produse de factorii de mediu asupra echipamentului electric.

În cazul instalațiilor capsulate izolate cu hexafluorură de sulf, efectele acțiunii factorilor de mediu sunt practic eliminate deoarece elementele constructive funcționează în întregime în incinte metalice din oțel sau aluminiu, în care se găsește hexafluorura de sulf la presiuni de 0,3...0,4 MPa. Deoarece blindajul metalic al acestor instalații este legat la pământ, se obține ecranarea totală a căilor conductoare, cu efecte benefice sub raportul cerințelor de compatibilitate electromagnetică în instalațiile de joasă frecvență. Influențele poluării naturale sau chimice sunt complet eliminate.

**Fig.2.36**

*Generații de instalații blindate
în SF₆*

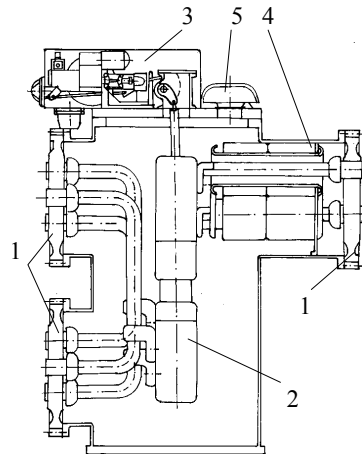
c) Creșterea gradului de siguranță în funcționarea instalațiilor, prin eliminarea posibilităților de producere a avariilor sub acțiunea unor cauze întâmplătoare. Elementele constructive ale instalațiilor capsulate sunt complet inaccesibile din exterior, încât gradul de securitate împotriva electrocutărilor este foarte ridicat. De asemenea este înlăturat orice pericol de explozie, obținându-se astfel un avantaj foarte important, în special pentru instalațiile destinate funcționării în medii explozive (minerit, industrie chimică, armament etc.).

Caracterizarea diferitelor generații de instalații capsulate poate fi făcută în raport cu următorii parametri: numărul polilor conținuți în fiecare blindaj (instalații monopolare, respectiv tripolare) și realizarea separată sau grupată a funcționalităților.

Primele generații de instalații de acest tip au fost monopolare și cu funcționalități separate; întrerupătoarele, separatoarele de bare și cele de legare la pământ, transformatoarele de măsură, sistemele de bare și restul echipamentelor erau etanșate fiecare într-o anvelopă proprie, așa cum se poate vedea în Fig.2.36a.

De la primele aplicații de acest tip, realizate în anii 1960 pentru tensiuni nominale de 66 kV, s-a ajuns la construcții de 500 kV (1975), extinse apoi la tensiuni nominale de 800 kV. Evoluțiile constructive s-au concretizat cu deosebire în compactizare și miniaturizare, ajungându-se la instalații tripolare (Fig.2.36b) și, în sfârșit, la construcții în care funcționalitățile sunt grupate (Fig.2.36c).

Construcțiile și domeniul de utilizare al instalațiilor capsulate au fost extinse și spre medie tensiune, în prezent existând echipament de acest tip care acoperă domeniul tensiunilor nominale între limitele 7,2...800 kV.

**Fig.2.37**

*Compartimentul întrerupătorului:
1-izolatoare de trecere; 2-cameră de
stingere; 3-mecanism de acționare;
4-transformator de curent; 5-supapă
de siguranță.*

La tensiuni de până la 170 kV, ieșirea din instalația blindată are loc prin cablu; peste acest nivel de tensiune, conexiunea se face în mod obișnuit la o rețea aeriană, printr-un izolator umplut cu gaz SF₆ sub presiune.

Întrerupătorul de linie este conectat la un sistem de bare realizat de asemenea de tip capsulat; pentru niveluri mai scăzute de tensiune, cei trei poli ai întrerupătorului și barele colectoare sunt capsulate în carcasă unică în timp ce, pentru tensiuni nominale superioare nivelului de 170 kV, fiecare fază este prevăzută cu blindaj propriu.

În instalațiile capsulate cu izolație în hexafluorură de sulf sunt amplasate echipamente de același tip cu cele utilizate în instalațiile

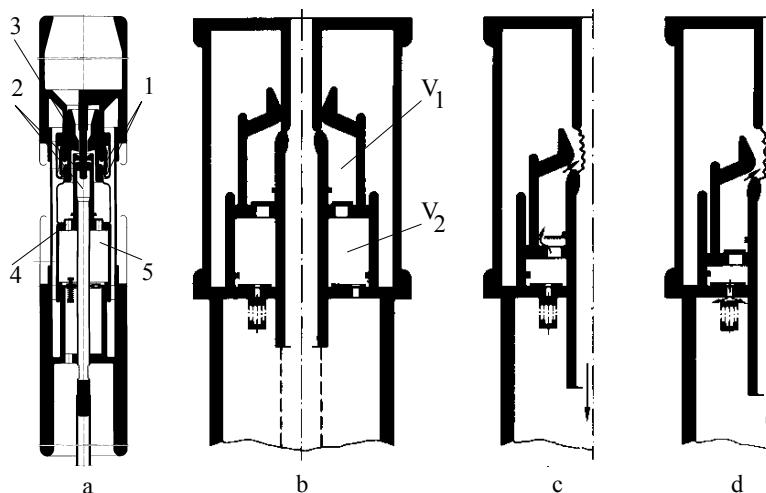
convenționale, cu adaptări mai mult sau mai puțin importante, în vederea funcționării în condiții de etanșeitate completă.

Importante progrese au fost introduse în realizarea întrerupătoarelor concretizate, în special, prin reducerea numărului de camere de stingere modul (locuri de întrerupere) înseriate pe pol, pentru aceeași valoare a capacității nominale de deconectare la scurtcircuit; de exemplu, pe durata a numai două decenii, în construcția întrerupătoarelor de 245 kV/31,5 kA s-a trecut de la patru camere de stingere modul pe pol la una singură, simplificarea conducând la creșterea gradului de compactizare și a indicatorilor de fiabilitate.

În construcțiile actuale, incinta întrerupătorului (Fig.2.37), etanșat prin izolatoarele 1, conține camera de stingere 2, dispozitivul de acționare hidromecanică 3 și transformatorul de curent 4. În cazul unor defecte interne, protecția incintei împotriva exploziei este asigurată prin supapa de siguranță 5.

Întrerupătoarele utilizate funcționează cu autocompresie dar, în construcțiile de ultimul tip, Fig.2.38, se folosesc aparate cu autocompresie asistată de autoexpansiune.

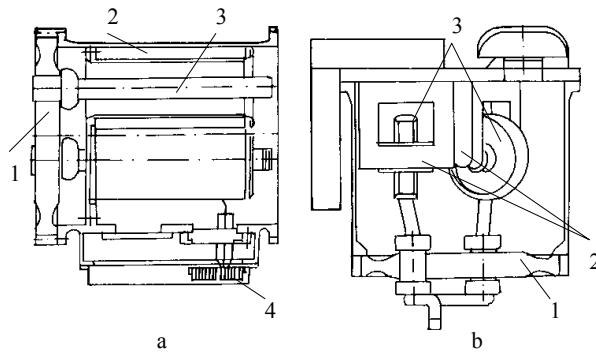
Partea activă a întrerupătorului (Fig.2.38a) este compusă din contactele de lucru respectiv de rupere 1, 2, ajutorul electroizolant 3 și pistonul mobil 4; sub acesta se delimitează volumul de gaz 5, care poate exercita suflaj în două etape asupra coloanei arcului electric.

**Fig.2.38**

Construcția întrerupătorului: a-ansamblu cameră de stingere; b-contacte închise; c-deconectare în regim normal; d-deconectare în regim de scurtcircuit; V_1 -volum constant; V_2 -volum comprimabil.

Poziția relativă a componentelor camerei de stingere în cazul întrerupătorului închis este prezentată în Fig.2.38b. Volumele de gaz V_1 și V_2 au aceeași destinație, dar intervin în mod diferit. La întreruperea curenților de mică intensitate, inclusiv a celor de regim normal (Fig.2.38c) suflajul asupra arcului electric este obținut prin autoexpansiune (V_1) completată, dacă este cazul, printr-o componentă provenind din autocompresie (V_2); la deconectarea curenților de scurtcircuit (Fig.2.38d) suflajul se constituie numai ca urmare a autoexpansiunii gazului din volumul V_1 . Fiind posibilă recuperarea parțială a energiei arcului electric prin autoexpansiunea gazului, acționarea acestor întrerupătoare necesită dispozitive de acționare simplificate, cu nivel redus al energiei înmagazinate și cu indicatori de fiabilitate ameliorați.

Construcția separatoarelor utilizate în instalațiile capsulate cu izolație în hexafluorură de sulf are elemente specifice, ținând seama și de destinația acestor echipamente în instalațiile tradiționale, anume aceea de a face nemijlocit vizibilă separarea electrică a anumitor circuite. Deoarece vizibilitatea în interiorul blindajului nu este posibilă, pentru controlul deschiderii complete a contactelor separatoarelor s-a recurs la diferite metode, unele între timp părăsite (intercalarea de ecrane metalice legate la pământ între contactele deschise ale separatorului, practicarea unor hublouri în blindajul celulelor pentru controlul vizual al deschiderii complete a contactelor). În construcțiile actuale se utilizează indicatoare de poziție amplasate în exteriorul compartimentului

**Fig. 2.39**

Transformatoare de măsurare: a-transformator de curent; b-transformator de tensiune: 1-izolator de trecere și etanșare; 2-miez feromagnetic; 3-înfășurare primară; 4-regletă de borne.

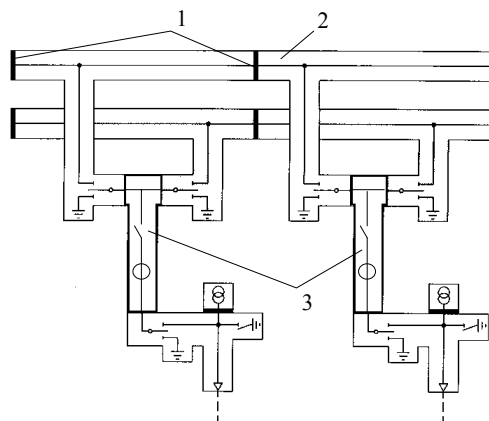
separatorului, legate la contactele mobile ale acestuia și capabile să semnalizeze fără ambiguitate starea aparatului la un moment dat. Posibilitatea deteriorării nivelului de izolație dintre contactele deschise ca urmare a unor pierderi de gaz SF_6 este preîntâmpinată prin utilizarea manometrelor compensate în temperatură, capabile să detecteze orice scădere accidentală a presiunii.

Dispozitive de control similare sunt prevăzute și pentru confirmarea închiderii ferme a contactelor separatoarelor de legare la pământ.

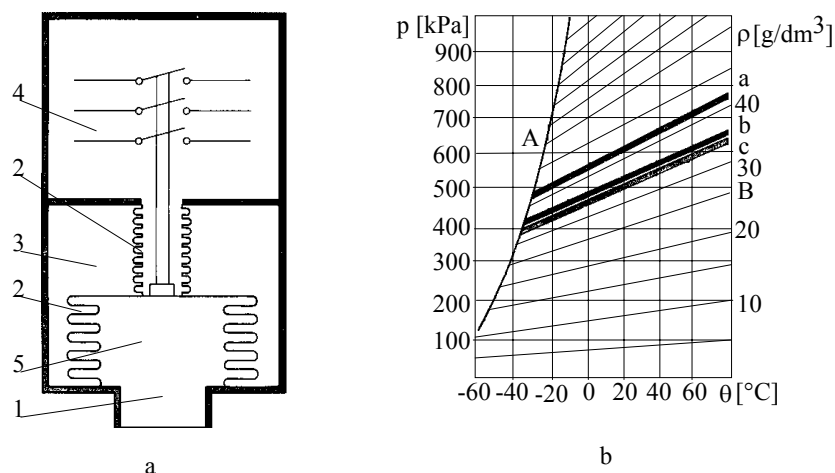
Transformatoarele de curent sunt de tip toroidal, adaptate pentru a putea fi amplasate direct pe cablurile de înaltă tensiune, dacă instalația capsulată este racordată la o rețea în cablu; în alte variante, acestea sunt amplasate în compartimentul întrerupătorului, Fig. 2.37. Noi tipuri de transformatoare de curent sunt avute în vedere: transformatoare magnetice de putere redusă, utilizarea efectului Faraday etc.

Transformatoarele de tensiune pot fi de inducție sau divizor capacitiv, construcțiile fiind prezentate în Fig. 2.39.

Sistemul de gaz al unei instalații capsulate este constituit dintr-o succesiune de compartimente, detașabile și separate cu ajutorul unor izolatoare de etanșare (Fig. 2.40), fiecare conținând elementele de structură necesare: jocurile de bare, aparatul de comutație, de măsurare, plecările în cablu etc.

**Fig. 2.40**

Sistem de capsulare: 1-izolator de trecere și etanșare; 2-compartiment pentru bare; 3-incinta întrerupătorului.

**Fig.2.41**

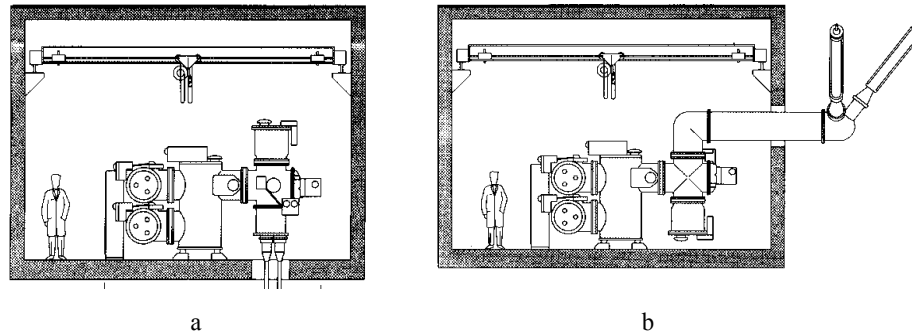
Manometru de contact și caracteristici de funcționare

Pentru întrerupător compartimentarea este necesară în vederea limitării, la un volum cât mai redus, a împrăștiilor substanțelor de descompunere a gazului SF_6 , produsă sub acțiunea arcului de deconectare. Pentru restul echipamentului, prin compartimentare se urmărește pe de o parte limitarea spațială a efectelor unor eventuale defecte interne, cu repercursiuni pozitive și asupra disponibilității instalației, iar pe de altă parte posibilitatea de extindere fără cheltuieli excesive.

Presiunea gazului în compartimentele unei instalații capsulate este supravegheată cu manometre de contact termocompensate (joje de densitate). Configurația unei joje de densitate pentru hexafluorură de sulf și caracteristicile de funcționare ale acesteia, utilizabile și în construcția întrerupătoarelor, sunt date în Fig.2.41.

Joja (Fig.2.41a) permite efectuarea măsurării pe baza principiului comparației; densitatea gazului supravegheat, existent în compartimentul 5, este comparată în permanență cu cea corespunzătoare gazului din incinta de referință 3. La temperatură variabilă, punctul de funcționare normală (fără pierderi de gaz) se situează pe curba a (Fig.2.41b); curba b corespunde densității gazului din incinta de referință a joiei. Dacă densitatea scade sub această valoare, un microcontact semnalizează necesitatea completării cu hexafluorură de sulf. În cazul unor pierderi importante de gaz (densitate sub nivelul dat de curba c, un al doilea semnal blochează funcționarea întrerupătorului sau a instalației capsulate.

Anvelopele metalice ale modulelor unei instalații capsulate cu izolație în gaz SF_6 sunt realizate din aluminiu sudat, unele repere fiind turnate. Partea activă, funcționând sub tensiune în interiorul acestor anvelope, este fixată

**Fig.2.42**

Instalații capsulate cu sistem dublu de bare; a-ieșire în cablu; b-ieșire în linie aeriană.

mecanic cu izolatoare din rășină pe bază de siliciu. Anvelopa metalică a fiecărui modul este legată la pământ în ambele capete.

Instalațiile capsulate cu izolație în hexafluorură de sulf se pot conecta în diferite moduri la echipamentul instalației complexe din care fac parte; astfel este posibilă ieșirea în linie fie subterană, fie aeriană (Fig.2.42a,b) sau racordarea directă la transformatorul de putere.

Fiind construite integral pe principiul modului, instalațiile capsulate pot reproduce orice schemă de stație de transformare, indiferent de tipul sistemului de bare colectoare: dublu, în H, în inel etc.

2.7. Utilizarea tehnicii de comutație în SF₆

Înterupătoarele cu hexafluorură de sulf apar pe piața echipamentelor electrice după anul 1965, moment în care înterupătoarele realizate în tehnica clasică (cu ulei puțin, cu aer comprimat etc.) împlineau 30...35 de ani de utilizare.

În cele trei decenii de fabricare și comercializare a aparatelor cu comutație în hexafluorură de sulf, marile firme constructoare au ajuns fiecare la zeci de mii de exemplare vândute și puse în funcțiune. Au fost elaborate și studiate mii de proiecte din care doar o mică parte au fost transpuse în practică; tehnologiile au fost perfecționate în mod continuu, până la obținerea generațiilor actuale.

În pofida dezavantajelor menționate la §2.2, înterupătoarele cu două presiuni au fost multă vreme singurele versiuni de aparate cu hexafluorură de sulf intrate în mod avantajos în competiție cu tehnica tradițională. Avantajele tehnico-economice ale comutației în hexafluorură de sulf au fost evidențiate cu claritate abia după 1975, odată cu fabricarea și utilizarea primelor înterupătoare cu autocompresie.

Compararea tehnico-economică a întrerupătoarelor realizate în diferite tehnologii (clasică, hexafluorură de sulf) și chiar a diferitelor variante constructive funcționând cu hexafluorură de sulf, trebuie făcută în funcție de masa specifică a acestora (obținută prin raportare la puterea de rupere și exprimată în kg/GVA) și nu în funcție de prețuri deoarece în construcția întrerupătoarelor de putere cu ulei puțin, pneumatice și cu comutație în hexafluorură de sulf sunt necesare materii prime și cheltuieli de manoperă similare.

Progresele înregistrate în numai 15 ani (1965...1980), conținând și saltul produs prin introducerea tehnicii autopneumatice în locul celei cu două presiuni, pot fi ilustrate astfel: puterea de rupere a întrerupătoarelor crește de la 2 la 20 GVA, în timp ce masa specifică scade de la 1000 la 200 kg/GVA.

Evoluția tehnică în construcția întrerupătoarelor cu comutație în hexafluorură de sulf se concretizează și în reducerea, de la o generație la alta, a numărului camerelor de stingere modul, reprezentând tot atâtea locuri de întrerupere pe pol. Efectele micșorării numărului de camere de stingere modul pe pol se reflectă nu numai în scăderea masei specifice, dar și în construcția generală a aparatului și, cu deosebire în construcția mecanismului de acționare. Acesta se simplifică mult, deoarece energiile puse în joc devin mai mici. Micșorarea numărului de repere utilizate în construcția întrerupătorului conduce, de asemenea, la creșterea valorilor indicatorilor de fiabilitate și a mentenabilității.

Evoluțiile menționate pot fi exemplificate în raport cu oricare din marile firme producătoare de echipament de comutație.

Astfel, întrerupătoarele firmei Siemens, în număr de 10.000 la sfârșitul anului 1987, erau prevăzute, în 1967, cu patru camere de stingere modul pe pol (245 kV/40 kA). În prezent, la aceeași tensiune și pentru o capacitate de rupere la scurtcircuit de 50 kA, aceleași întrerupătoare sunt echipate doar cu o singură cameră modul pe pol; numărul detaliilor constructive utilizate a scăzut de circa trei ori.

Mitsubishi Electric din Japonia a fabricat, începând cu 1965, 14.000 de întrerupătoare cu hexafluorură de sulf. În prezent, întrerupătoarele cu tensiunea de 300 kV sunt prevăzute cu o singură cameră modul pe pol, cele destinate instalațiilor cu tensiunea nominală de 550 kV având doar două module. Capacitatea nominală de rupere la scurtcircuit a acestor întrerupătoare a atins valoarea de 63 kA (110 kA în cazul întrerupătoarelor pentru generatoare).

Întrerupătoarele destinate instalațiilor de transport al energiei electrice se fabrică în două versiuni de bază: cu volum redus, respectiv în baie (cu volum mare) de hexafluorură de sulf.

Înterupătoarele cu volum redus de gaz (live-tank) sunt capsulate în anvelope de porțelan, izolate deasupra nivelului solului, construcția globală fiind asemănătoare celei întâlnite la înterupătoarele de putere cu ulei puțin. Gama înterupătoarelor cu volum redus de hexafluorură de sulf acoperă domeniul nivelurilor de tensiune între limitele 145...800 kV.

Înterupătoarele cu volum mare de gaz SF₆ (dead-tank) au partea activă ermetic închisă într-o cuvă metalică, legată electric la pământ, în care hexafluorura de sulf se găsește la presiunea de funcționare. Accesul la căile de curent se face prin izolatoare de trecere, care pot avea înglobate transformatoare de curent. Mai fiabile decât înterupătoarele cu volum redus de gaz, versiunile realizate în baie de hexafluorură de sulf pot fi convenabil folosite în construcția celulelor blindate, prin încapsulare în interiorul acestora. Se fabrică uzual pentru tensiuni nominale în domeniul 72...800 kV.

Duratele reduse și cerințele modeste de mentenanță conduc la valori ridicate ale disponibilității tehnicii de comutație în hexafluorură de sulf și contribuie la reducerea cheltuielilor totale de exploatare. De exemplu, în cazul înterupătoarelor de exterior tip ELF SP fabricate de ABB, s-a constatat că înlocuirea contactelor nu este necesară decât după deconectarea de 10 ori a unui curent de scurtcircuit de 63 kA; în cazul acestor aparate, potrivit instrucțiunilor de exploatare, efectuarea reviziilor se face nu după durata de funcționare ci după consumarea rezervei de deconectare, exprimată prin numărul maxim admis de acționări la un anumit curent de defect. Joja de densitate (Fig.2.41) permite supravegherea permanentă a presiunii, inspecția și completarea cu gaz SF₆ fiind necesare doar după mai mulți ani de funcționare.

În instalațiile de medie tensiune, utilizarea înterupătoarelor cu hexafluorură de sulf este foarte diversificată, de la echipamente de comutație în instalații de distribuție urbană, comercială, industrială, înterupătoare pentru generatoare și până la echipamente de comutație cu destinație specială (baterii de condensatoare, bobine de reactanță, cuptoare electrice, instalații de la bordul navelor și de pe platformele de foraj marin).

În cele peste trei decenii de fabricare și utilizare a înterupătoarelor de putere cu hexafluorură de sulf a fost acumulat un volum important de date statistice, în măsură să permită evaluări precise privind comportarea în exploatare a acestora.

Analizele efectuate evidențiază avantajele nete ale comutației de putere în hexafluorură de sulf, comparativ cu tehnologiile tradiționale; acestea sunt concretizate în:

- creșterea valorilor capacității nominale de deconectare la scurtcircuit;

- încadrarea nivelurilor supratensiunilor de comutație între limite normale, prin eliminarea neajunsurilor datorate amorsării repetate a arcului electric și funcționării cu tăiere (smulgere) de curent;

- funcționarea fără consumarea mediului de stingere și eșaparea în atmosferă a particulelor rezultate în urma arderii arcului electric;

- etanșarea pe viață a camerelor de stingere, cu excluderea pierderilor de gaz, a necesității completării mediului de stingere și a influențelor negative exercitate de factorii climatici și de mediu asupra părții active a întrerupătorului;

- eliminarea completă a pericolelor de incendiu și explozie;

- creșterea duratei de funcționare: întrerupătoarele actuale cu comutație în hexafluorură de sulf pot efectua 50 de întreruperi la capacitate nominală de rupere la scurtcircuit, 10.000 - la curent nominal și până la 20.000 de acționări în gol;

- îmbunătățirea consistentă a indicatorilor de fiabilitate: rata medie de defectare calculată pe o durată de 10 ani pentru un lot de 20.000 de întrerupătoare este de numai 0,07%;

- creșterea periodicității reviziilor la peste 10 ani.

Proprietățile hexafluorurii de sulf, pe drept cuvânt numit "le gaz des appareilleurs", permit realizarea unor echipamente de comutație cu parametri performanți, net superiori celor care caracterizează aparatele tradiționale.

Avantajele utilizării întrerupătoarelor de putere cu comutație în hexafluorură de sulf se concretizează în insensibilitate față de condițiile de mediu, dimensiuni de gabarit diminuate, costuri de exploatare reduse, durată de funcționare electrică și mecanică ridicată, grad înalt de disponibilitate și securitate, posibilități de control permanent al parametrilor funcționali.

Înlocuirea echipamentelor de comutație tradiționale cu echipament modern, cu comutație în hexafluorură de sulf, este în plină desfășurare. Astfel, după datele din literatură, ponderea întrerupătoarelor cu ulei puțin în instalațiile de medie tensiune era în 1991 de mai puțin de un sfert, celelalte trei fiind ocupate de întrerupătoarele cu comutație în hexafluorură de sulf (46%), respectiv în vid (31,2%).

Capitolul 3

ÎNTRERUPĂTOARE CU STINGEREA ARCULUI ELECTRIC ÎN VID

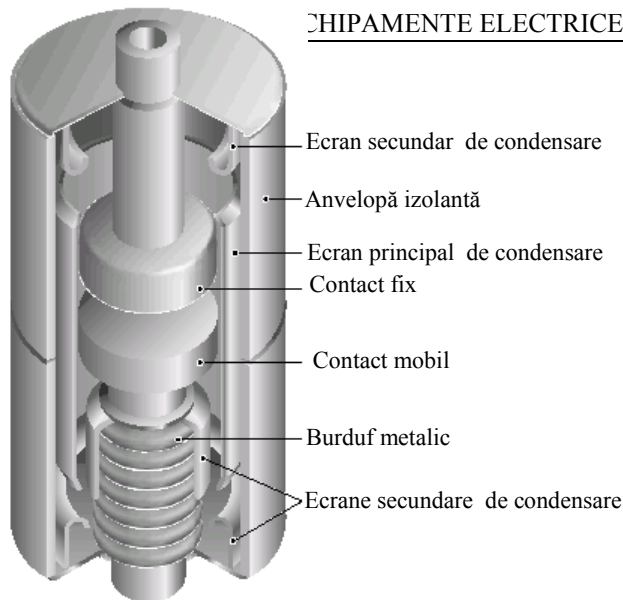
Utilizarea vidului avansat ($10^{-7} \dots 10^{-2}$ Pa) ca mediu electroizolant și de stingere a arcului electric în comutația de putere a fost prefigurată încă din anii 1920 dar, ca și în cazul hexafluorurii de sulf, a fost necesară trecerea câtorva decenii până când, abia în 1950, primele întrerupătoare 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, întrerupătoarele cu comutație în vid avansat cunosc generalizarea în rețelele de distribuție de medie tensiune.

3.1. Caracteristici constructive și funcționale

Tehnica vidului avansat nu permite intervenția asupra procesului de comutație decât printr-un număr extrem de 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 ajutoarelor 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 extrem de ridicat de puritate, fac din comutația în vid avansat una din cele mai pretențioase tehnici sub raportul obținerii de parametri performanți. Contrar unor previziuni sceptice, rezultatele nu au întârziat să apară și, în prezent, tehnica vidului avansat reprezintă un concurent redutabil pentru aparatele cu comutație în hexafluorură de sulf în domeniul instalațiilor de medie tensiune.

În Fig.3.1 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.

**Fig.3.1**

Construcția unei camere de stingere vidate

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 în 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.

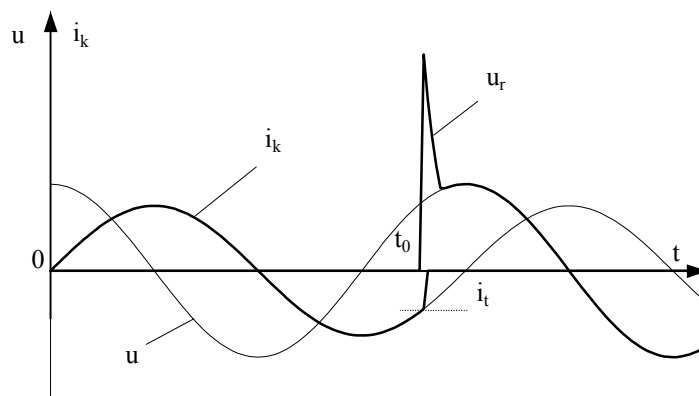
Durata mare de funcționare a întrerupătoarelor cu vid impune recuperarea aproape integrală, la deconectare, a vaporilor metalici proveniți din piesele de contact. Aceasta se obține prin condensarea vaporilor chiar pe suprafețele pieselor de contact, depunerea fiind stimulată de realizarea unei distanțe 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 extrem de lipsit de gaze; în acest fel este posibilă redepunerea uniformă a materialului 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, 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 comutație în 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.3.2 este reprezentat curentul prin întrerupător în ipoteza stingerii arcului electric în momentul t_0 , la valoarea $i_t \neq 0$ a curentului tăiat.

**Fig.3.2***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:

$$u_m = i_t \sqrt{\frac{L}{C}}, \quad (3.1)$$

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 comutație în vid, se obțin și prin creșterea cantității de vapori produși la deconectare.

Astfel, dacă la primele întrerupătoare cu comutație în vid, prevăzute cu contacte din 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.

Tab. 3.1. *Valori ale curentului tăiat*

Materialul de contact	Curentul tăiat [A]	
	Valoare medie	Valoare maximă
Cu	15	21
CuCr	4	8
AgWC	1	1,1

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.

În construcția multor întrerupătoare actuale cu comutație în vid a fost unanim adoptat drept material de contact sinterizatul Cu-Cr, creat inițial de English Electric Comp. Limited, la laboratoarele pentru cercetare Nelson din Stafford. Proporția uzuală este de 60% cupru și restul crom.

Se studiază completarea structurii Cu-Cr cu alte elemente; astfel, materialul cu compoziția 52% Cu, 25% Cr, 13% Bi, 7% Bi₂Te₃, 3% TiTe se caracterizează

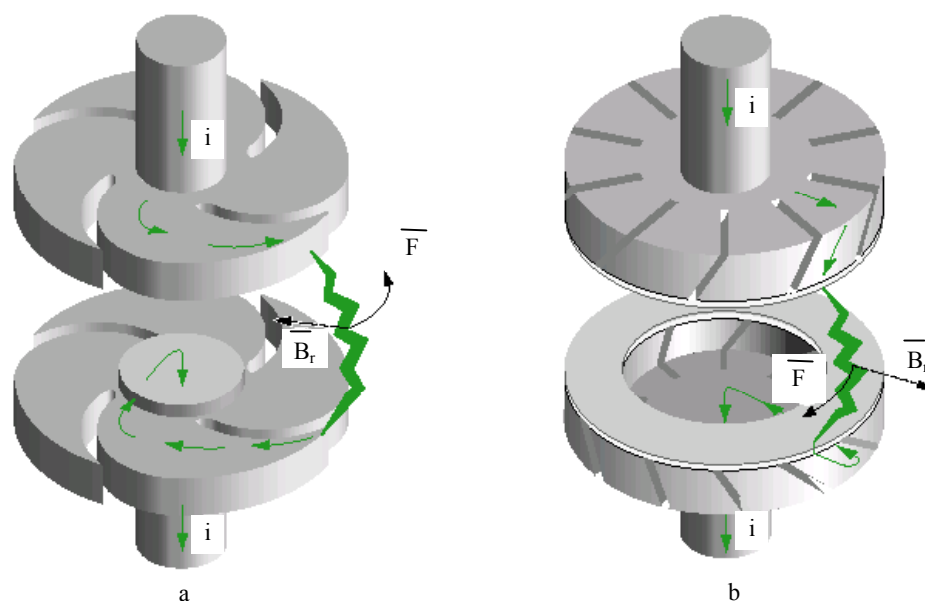


Fig.3.3

Contacte folosite pentru realizarea câmpului magnetic radial: a) contacte spiralate; b) contacte contrate (cupă)

prin valori foarte mici ale curentului tăiat și viteză ridicată de creștere a

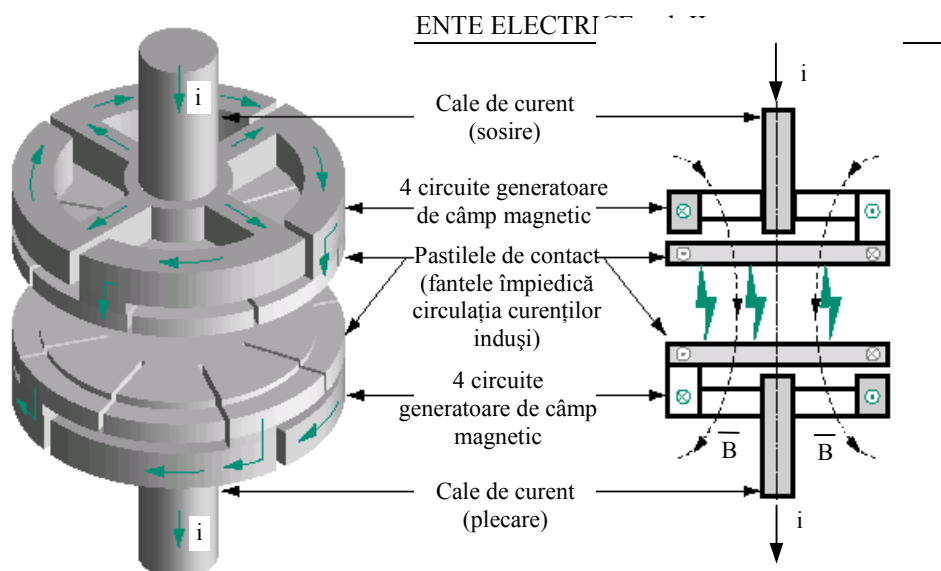


Fig.3.4

Contacte generatoare de câmp magnetic axial

rigidității dielectrice în camera de stingere, cantitatea de vapori produsă la deconectare fiind substanțial diminuată.

Cromul are față de wolfram avantajele unei temperaturi de vaporizare mai scăzute, astfel încât probabilitatea de producere a termoemisie 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.

Urmărindu-se obținerea unor efecte similare, în laboratoare din SUA și Japonia se experimentează comportarea contactelor construite din materiale pe bază de argint.

În Tab.3.1 se prezintă valori ale curentului tăiat pentru câteva materiale uzuale utilizate în construcția contactelor electrice.

Forma constructivă a contactelor și geometria electrozilor răspund cerințelor privind asigurarea unei uzuri uniforme distribuite pe suprafața acestora.

În Fig.3.3 sunt prezentate două structuri de contacte care permit obținerea unui câmp magnetic radial: contacte spiralate (Fig.3.3a) respectiv, contacte de tip *cupă* sau *contrate* (Fig.3.3b). Câmpul magnetic radial B_r este datorat modului de circulație a curentului prin contacte. Acest câmp magnetic radial aplicat 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.3.3 sunt din categoria celor

cu câmp magnetic orientat transversal în raport cu coloana arcului electric. Aceste contacte nu pot întrerupe curenți mai mari de 40 kA, chiar dacă diametrul pieselor de contact ajunge la valori de 100...150 mm. La aceleași dimensiuni este posibilă aproape dublarea curentului întrerupt, dacă în zona de contact se creează un 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 formei concentrate a acestuia. Arcul electric utilizează astfel aproape întreaga suprafață a contactelor, încălzirea contactelor este limitată și astfel eroziunea rămâne redusă. Sub acțiunea câmpului este împiedicată totodată difuzia plasmei reziduale care afectează procesul de refacere a rigidității dielectrice în camera de stingere.

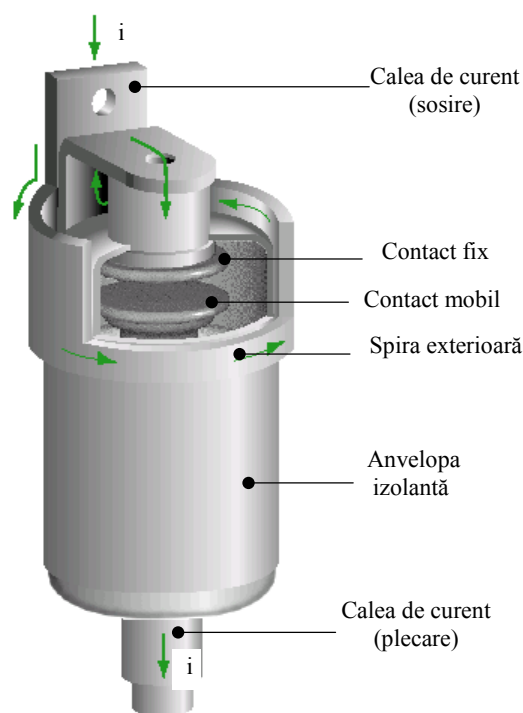


Fig.3.5

Cameră de stingere în vid cu spiră exterioară pentru realizarea câmpului magnetic axial

În Fig.3.6 se prezintă comparativ dependența capacității nominale de deconectare la scurtcircuit în raport cu diametrul pieselor de

Diverse soluții constructive pot fi folosite pentru a se obține câmpul magnetic axial între contacte, cu ajutorul curentului ce trebuie întrerupt: spire integrate în spatele contactelor, Fig.3.4; spiră exterioară anvelopei, Fig.3.5.

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. Teste de maximă severitate au permis întreruperea unor curenți de 48 kA la tensiunea de 63 kV, respectiv de 72 kA la tensiunea de 6,3 kV.

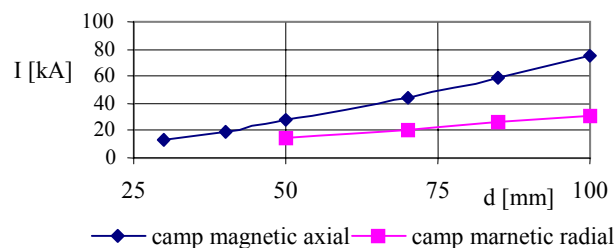
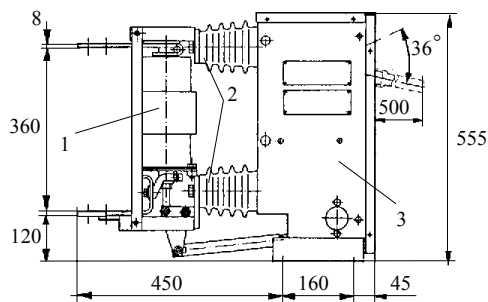


Fig.3.6

Comparație între capacitățile de deconectare ale întrerupătoarelor cu vid în funcție de diametrul pieselor de contact și tipul câmpului magnetic

**Fig.3.7**

Arhitectura întrerupătorului cu vid:
1-capsulă vidată; 2-izolatoare suport;
3-mecanism de acționare.

funcționare fără revizii și reparații, anduranța 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 comutație în 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 necesară pentru acționare, acumulată în resorturi, are valori de 50...150 J.

Variantele construite realizează în mod obișnuit, în condiții precizate privind anduranța mecanică, un număr de $(2...3)10^4$ acționări.

3.2. Variante constructive

Principiile constructive care au condus la realizarea întrerupătoarelor cu comutație în vid avansat sunt tipice pentru aparatajul de comutație destinat instalațiilor de medie tensiune.

Arhitectura unui întrerupător cu vid din clasa 12 kV/1250 A/31,5 kA, cu precizarea principalelor dimensiuni de gabarit, este prezentată în Fig.3.7. Întrerupătoarele cu vid sunt aparate tripolare prevăzute cu mecanism de acționare cu resorturi, întregul ansamblu fiind amplasat pe șasiu metalic comun. Construcția poate fi realizată în variantă fixă sau debroșabilă. Coloanele celor trei poli, conținând camerele de stingere, sunt protejate la exterior prin cilindri electroizolanți. Aceștia au rol de prevenire a impactului mecanic și de limitare a efectelor unui mediu eventual poluat. Construcția camerei de stingere vidate diferă după modul de amplasare a ecranelor metalice. Din acest punct de vedere există două variante de bază, reprezentate în Fig.3.8.

contact la contacte cu câmp magnetic radial, respectiv axial.

Indicatorii de fiabilitate ai întrerupătoarelor de orice tip sunt puternic afectați de nefuncționarea sistemului mecanic și a mecanismului de acționare care le echipează; circa 80% din toate refuzurile și defectele întrerupătoarelor sunt de natură mecanică. Mecanismele de acționare care echipează întrerupătoarele cu comutație în vid trebuie să se caracterizeze prin durate mari de

Corespunzător variantei din Fig.3.8a, ecranul metalic 7 se confundă cu peretele capsulei vidate în zona contactelor, și se continuă în ambele sensuri cu anvelopele ceramice 1.

Construcția din Fig.3.8b diferă prin aceea că ecranul metalic este amplasat în interiorul camerei de stingere, ocupând aproape toată înălțimea acesteia, în jurul contactelor. Datorită distanței mici dintre contacte și conductivității înalte a vaporilor metalici care apar la deconectare, căderea de tensiune pe coloana arcului electric are valori scăzute.

De asemenea, durata redusă de ardere a arcului de deconectare conduce la valori reduse pentru energia disipată sub formă de căldură de coloana sa.

Toate acestea au efecte favorabile asupra prelungirii duratei de funcționare a contactelor și ansamblului camerei de stingere.

În principiu construcția întrerupătorului depinde de cea a camerei de stingere utilizate, așa cum rezultă și din Fig.3.9, în care se prezintă întrerupătoare ale firmei Siemens.

Comparativ cu întrerupătoarele normale (Fig.3.9a) aparatele grele, destinate unor curenți nominali de valori mari, sunt prevăzute la cele două extremități ale camerei de stingere vidate cu radiatoare, capabile să asigure regimul termic adecvat. În acest caz creșterea gabaritelor poate fi mai ușor rezolvată prin amplasarea oblică a izolatoarelor suport, așa cum se poate vedea în Fig.3.9b.

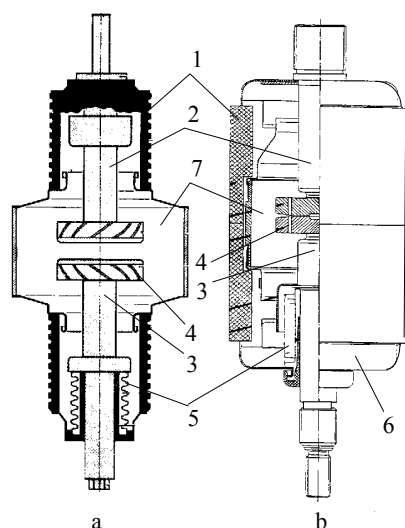
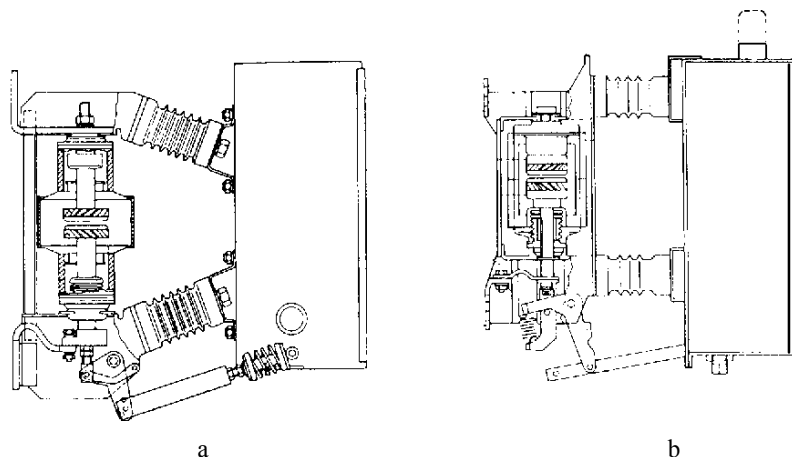


Fig.3.8

Capsulă vidată: a-cu ecran exterior; b-cu ecran interior; 1-anvelopă electroizolantă ceramică; 2-contact fix; 3-contact mobil; 4-electrozi; 5-burduf metalic de etanșare; 6-capac; 7-ecran.

**Fig.3.9**

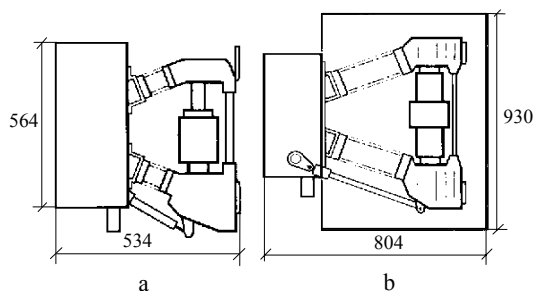
Construcția întrerupătoarelor cu vid: a-de tip normal; b-de tip greu.

Pentru niveluri diferite de tensiune, chiar dacă acestea aparțin domeniului tensiunilor medii, este necesară adaptarea lungimii liniei de conturare pe suprafața exterioară a capsulei vidate, fapt care conduce la dimensiuni de gabarit dependente, între anumite limite, de tensiunea nominală.

În Fig.3.10 se prezintă comparativ întrerupătoare cu vid de fabricație Siemens, construite pentru tensiunile nominale de 7,2 kV (Fig.3.10a), respectiv 36 kV (Fig.3.10b).

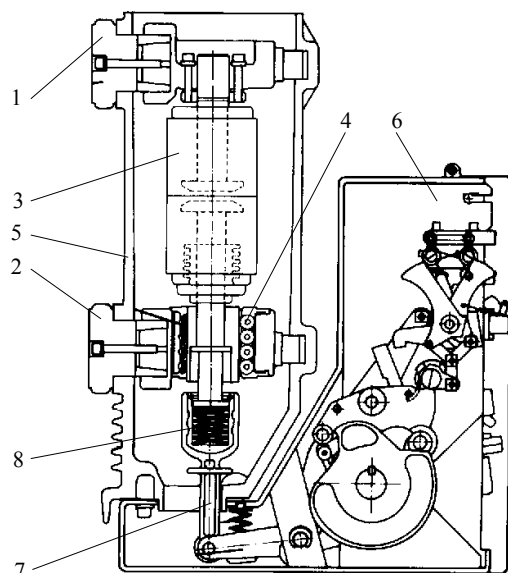
În construcții de dată recentă ale unor firme ca Zwar-Polonia și ABB se renunță la cele două izolatoare suport, orizontale sau înclinate (Fig.3.9, 3.10) prin intermediul cărora se face montarea pe șasiu a polului.

Amintind mai curând de arhitectura întrerupătoarelor cu ulei puțin de medie tensiune, la aceste construcții partea activă a polului este amplasată într-un cilindru electroizolant care, fixat doar cu baza pe șasiu, asigură protecția ansamblului din interior contra atingerii și izolația externă a polului față de pământ.

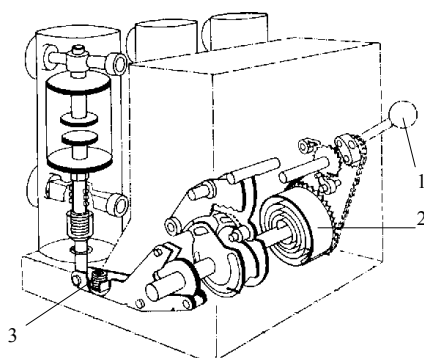
**Fig.3.10**

Dimensiuni de gabarit pentru întrerupătoare cu vid: a-7,2 kV/1250 A; b-36 kV/2500 A.

În Fig.3.11 este reprezentată o secțiune prin polul unui întrerupător cu comutație în vid tip VD4, de fabricație ABB. Construite pentru tensiuni de 12-17,5-24 kV și curenți nominali de 630-1250 A, aceste aparate pot întrerupe, cu o durată de arc

**Fig.3.11**

Secțiune prin polul unui întrerupător cu vid tip VD 4 (ABB): 1, 2-borne de conexiuni; 3-capsulă vidată; 4-contact alunecător; 5-cilindru electroizolant exterior; 6-mecanism de acționare; 7-transmisie electroizolantă; 8-resort.

**Fig.3.12**

Mecanismul de acționare al întrerupătoarelor tip VD4

mai mică de 15 ms, curenți de scurtcircuit de până la 40 kA.

Calea de curent este constituită din bornele de conexiuni 1, 2, contactele capsulei vidate 3 și contactul alunecător 4, realizat de tipul pivotant sau cu role, în funcție de intensitatea curentului nominal. La acționare, mișcarea se transmite contactului mobil prin tija electroizolantă 7 și resortul 8, ultimul având rolul de a realiza forța necesară de apăsare în contact.

În Fig.3.12 se prezintă schema lanțului cinematic al mecanismului de acționare care echează întrerupătoarele ABB tip VD4. Armarea mecanismului se face manual, prin acționarea repetată a levierului 1 și înmagazinarea energiei în resortul 2. La închiderea întrerupătorului se armează resortul de deschidere 3. Comenzile de închidere-deschidere se pot da fie de pe aparat, fie de la distanță, prin intermediul unor declanșatoare electromagnetice.

O particularitate a funcționării întrerupătoarelor cu vid o constituie emisia de radiații X atunci când aparatul este sub tensiune și cu contactele deschise. Tratat ca sursă de radiații, întrerupătorul cu vid face obiectul normalizărilor în domeniu,

standardele precizând nivelul admis de radiație.

Din acest punct de vedere, cerințe importante se impun mecanismului de acționare și lanțului cinematic de transmisie a mișcării la contacte, intensitatea radiației X fiind dependentă, la o tensiune dată, de distanța stabilită între contactele deschise.

3.3. Utilizarea tehnicii de comutație în vid

Deși la niveluri superioare de tensiune sunt cunoscute și aplicații atipice, în prezent se asistă la generalizarea utilizării întrerupătoarelor cu vid în domeniul instalațiilor de medie tensiune (6...35 kV). Pentru aceste tensiuni, întrerupătoarele construite au curenți nominali de până la 2500...3000 A și pot atinge valori ale capacității nominale de rupere la scurtcircuit de 25...40 kA la 12 kV, în perspectivă tinzându-se spre 40...100 kA pentru tensiunea de 13,8 kV.

Firmele europene fabrică aparate cu parametri menționați și studiază extinderea acestora la 4000 A curent nominal și 63 kA capacitate nominală de rupere la scurtcircuit, pentru niveluri de 12...15 kV ale tensiunii nominale.

În laboratoarele de încercări din Japonia s-a obținut întreruperea, la medie tensiune, a unui curent de scurtcircuit de 200 kA.

În funcție de firma producătoare, funcționarea echipamentului cu comutație în vid este garantată pentru 20 de ani sau pentru 10 ani și 30.000 de operații de comutație; dintre acestea circa 50...100 deconectări pot fi efectuate la capacitatea nominală de rupere la scurtcircuit. În Fig.3.13 se prezintă dependența numărului admisibil N de acționări în funcție de intensitatea curentului de scurtcircuit deconectat, caracteristic întrerupătoarelor cu vid de fabricație ABB.

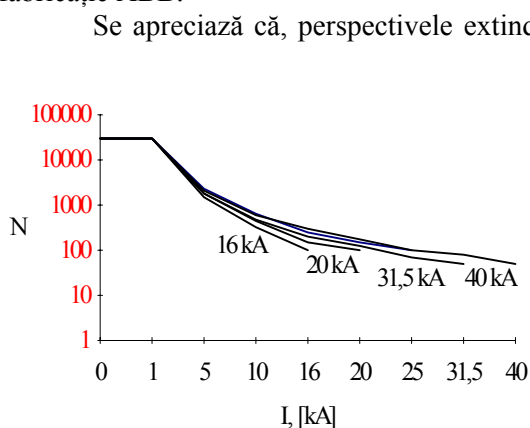
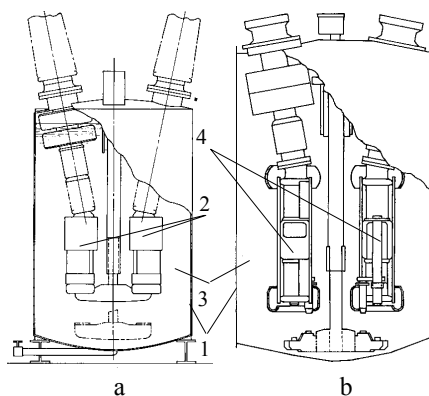


Fig.3.13

Dependența numărului admisibil de deconectări în raport cu intensitatea curentului întrerupt

Se apreciază că, perspectivele extinderii echipamentului cu comutație în vid la tensiuni nominale mai mari de 72,5 kV sunt limitate de necesitatea creșterii exagerate a distanțelor dintre contacte, a lungimii liniilor de conturare corespunzătoare izolației interne și externe precum și datorită unei construcții în final complicate a acestor echipamente. Cu toate acestea firma Toshiba are în fabricație un întrerupător cu vid de 84 kV/1250A/25 kA, pentru utilizări speciale fiind

**Fig.3.14**

Prelungirea duratei de funcționare a unui întrerupător cu ulei mult:

a-tehnica tradițională: 1-cuvă;

2-camere de stingere cu comutație în ulei; 3-ulei mineral;

b-utilizarea capsulelor vidate: 4-camere de stingere cu comutație în vid avansat.

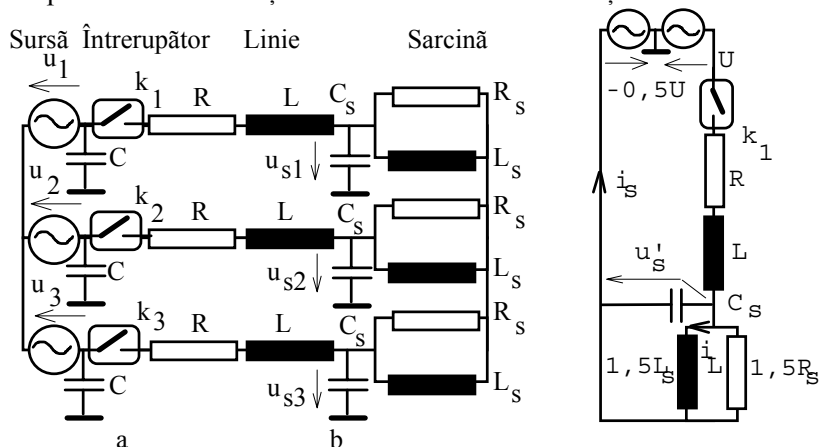
are capacitate de deconectare la scurtcircuit mărită dată de capsulele vidate care, la rândul lor, funcționează la niveluri superioare de tensiune (123 kV), datorită izolației externe realizată prin imersare în ulei mineral (Fig.3.14b).

Unele rezerve ale utilizatorilor față de întrerupătoarele cu vid sunt fondate pe ideea că funcționarea acestora este însoțită la deconectare de

realizat și un întrerupător cu tensiunea nominală de 168 kV și capacitatea nominală de rupere la scurtcircuit de 40 kA; tot în laboratoarele firmelor japoneze, se încearcă întrerupătoare cu tensiunea nominală de 145 kV, precum și echipamente cu comutație în vid pentru curent continuu la tensiunea de 250 kV, având izolația externă în hexafluorură de sulf.

Experimente interesante sunt efectuate în vederea prelungirii duratei de funcționare a unor întrerupătoare cu ulei mult (Fig.3.14a), prin substituirea camerelor de stingere originale cu capsule vidate.

Dezavantajele celor două tehnici se compensează, astfel încât echipamentul hibrid de comutație obținut

**Fig.3.15**

Reamorsarea repetată a arcului electric: a-schema trifazată completă; b-circuitul echivalent.

supratensiuni de comutație mai mari decât cele întâlnite la alte echipamente. Studiul supratensiunilor de comutație menționate arată că acestea pot fi produse ca urmare a tendinței de tăiere a curentului la deconectare și a fenomenelor de reamorsare repetată a arcului electric.

Deconectarea cu tăiere (smulgere) de curent, așa cum s-a arătat în §3.1, depinde de particularitățile arderii și stingerii arcului electric în vid avansat. Supratensiunile de comutație provocate de acest mod de funcționare se consideră totuși a fi neglijabile, mai ales în condițiile limitărilor considerabile ale curentului tăiat, impuse prin soluții tehnologice aplicate sistemului de contacte.

Fenomenul de reamorsare multiplă a arcului electric se poate iniția atunci când separarea contactelor are loc cu foarte puțin timp înainte de momentul anulării intensității curentului. Din acest motiv distanța dintre contacte, înregistrată în momentul stingerii arcului și apariției supratensiunii de comutație aferente, este foarte redusă. Ca urmare se produce stăpungerea spațiului dintre contacte și reamorsarea unui arc electric traversat de un curent de frecvență ridicată, pe care întrerupătorul este obligat din nou să-l stingă. Acest fapt conduce la repetarea supratensiunii de comutație care, produsă în condițiile creșterii curentului de frecvență industrială și deci a energiei magnetice înmagazinate în câmpul magnetic al bobinelor, are ea însăși valori crescute.

Schema electrică trifazăată care permite calculul parametrilor (Fig.3.15a), conduce la circuitul echivalent reprezentat în Fig.3.15b.

Pe durata unei semiperioade a semnalului

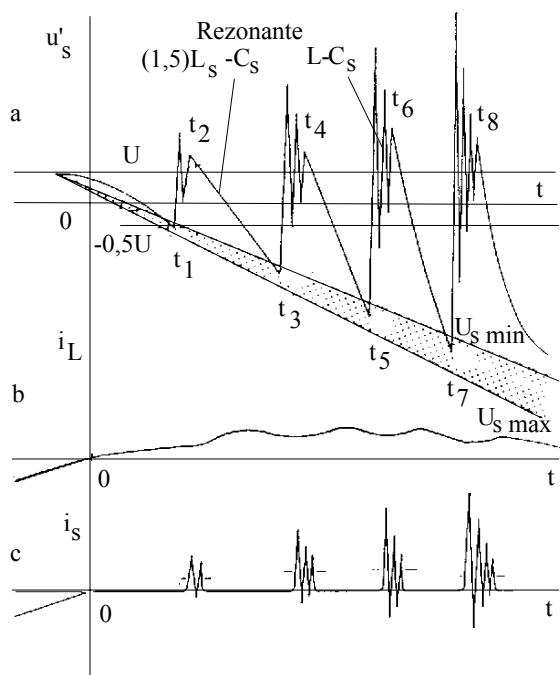
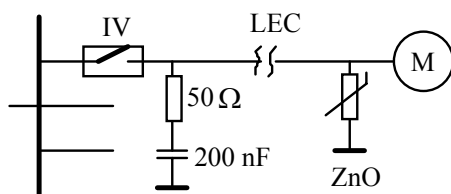


Fig.3.16

Reamorsarea repetată a arcului electric în întrerupătoare cu vid: a-tensiunea la bornele circuitului de sarcină; b-curentul inductiv; c-curentul de sarcină.

**Fig.3.17**

Protecția împotriva supratensiunilor de comutație: IV-întrerupător cu vid; LEC- linie electrică în cablu; ZnO-descărcător cu oxizi metalici; M-electromotor.

de frecvență industrială în curba curentului de sarcină i_s apar trenuri de oscilații de frecvență ridicată (Fig.3.16), care se repetă până când distanța între contacte devine suficient de mare, astfel încât străpungerea să nu mai fie posibilă.

Reamorsarea repetată a arcului electric într-un întrerupător cu vid se soldează cu supratensiuni de comutație având fronturi mai mult sau mai puțin abrupte, cu factor de amplitudine de

câteva unități. Acestea nu se consideră periculoase dar, dacă sunt frecvente, pot accentua îmbătrânirea izolației.

În cazul unui cuplaj capacitiv strâns între conductoarele de fază, prin reamorsarea repetată a arcului electric pe una din faze este posibilă modularea curentului de arc pe celelalte, cu riscul unei întreruperi anticipate.

Fenomenul este mai periculos decât deconectarea cu tăiere de curent, deoarece energia magnetică a circuitului poate avea valori foarte mari în momentul stingerii arcului electric, ceea ce conduce la supratensiuni de comutație considerabile.

Limitarea supratensiunilor de comutație produse la funcționarea echipamentelor de comutație cu vid este posibilă prin utilizarea unor elemente de protecție cum sunt grupurile RC sau descărcătoarele cu oxizi metalici (ZnO), conectate ca în Fig.3.17.

Tab.3.2. Mijloace pe protecție la supratensiuni asociate întrerupătoarelor cu vid

Tipul de receptor	Curentul de pornire, [A]	Lungimea liniei în cablu, [m]	Dispozitivul de protecție	Recomandări
Transformatoare				
Mașini sincrone				
Motoare (pompe, ventilatoare etc.)	>1000			
	<1000			ZnO pentru porniri foarte frecvente
Motoare cu rotor blocat (concasoare etc.)	>1000			ZnO pentru blocări foarte frecvente
	<1000, >250			ZnO
	<250	<100	ZnO	
		>100	R-C: 50 Ω, 200 nF	
Cuptoare cu arc			RC și ZnO	

În Tab.3.2 se prezintă în mod sintetic principalele mijloace de protecție la supratensiuni care se recomandă a fi asociate întrerupătoarelor cu comutație în vid.

Tehnica vidului avansat permite în momentul de față realizarea unor echipamente de comutație cu parametri electrici având valori performante și cu indicatori de fiabilitate deosebit de înalți; elocvente în acest sens sunt datele din Tab.3.3, referitoare la întrerupătoare de producție europeană din clasa 24 kV/630 A/16 kA.

În comparație cu alte clase de echipamente utilizate în comutația de putere, întrerupătoarele cu vid se caracterizează prin parametri electrici performanți, realizând un raport capacitate de comutație/masă (volum, dimensiuni de gabarit) dintre cele mai bune. Construcția foarte compactizată răspunde cerințelor de miniaturizare și permite extinderea fără dificultate a spațiilor necesare echipamentelor asociate din instalație (terminale de cablu, transformatoare și instrumente de măsurare, echipament secundar etc.).

Pe durata funcționării, mediul electroizolant și de stingere nu suferă pierderi, deci nu trebuie completat; mai mult, întrerupătoarele cu vid nu sunt poluante, caracterizându-se prin niveluri scăzute de zgomot și lipsa pericolului de incendiu. Valorile mici ale distanței de deplasare a contactelor și masei echipajului mobil permit acționarea cu energie redusă, motiv pentru care mecanismele de acționare cu resorturi utilizate au anduranța mecanică extrem de înaltă și funcționează practic fără mentenanță.

În prezent, generalizarea utilizării întrerupătoarelor cu comutație în vid avansat reprezintă o bună alternativă în raport cu celelalte tehnici moderne de comutație.

Tab.3.3. *Comparație între principalele caracteristici ale echipamentelor de comutație*

Tipul echipamentului	Ulei puțin	SF ₆	Vid
Caracteristica			
Deplasarea contactelor, [mm]	150	50	14
Viteza contactelor la deschidere, [m/s]	4	2	1
Numărul de întreruperi până la revizie :			
- la curentul nominal	500-1.000	10.000	20.000
- la capacitatea de rupere	6-10	20-30	50-100
Anduranța mecanică, cicluri I-D	10.000	10.000	20.000
Periodicitatea reviziilor, [ani]	1-3	10	10
Preț orientativ, [%]	100	130	160

13. INTRERUPTOARE DE ÎNALTĂ TENSIUNE

13.1. Caracteristici constructive și funcționale. Parametri nominali

Intreruptoarele de înaltă tensiune sînt echipamente de comutație capabile să stabilească, să suporte și să întrerupă curenți corespunzători regimurilor atât normale de sarcină cît și de defect (scurtcircuit) în instalații de curent alternativ cu tensiuni nominale mai mari de 1 kV.

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

Intreruptoarele de înaltă tensiune se execută în variante monopolare, bipolare și tripolare, fiind acționate cu unul sau cu trei mecanisme de acționare; intreruptoarele monopolare și bipolare se folosesc în instalațiile de tracțiune electrică, cele tripolare fiind utilizate în rețelele trifazate.

Intreruptoarele de înaltă tensiune sînt echipamente complexe de comutație care, indiferent de varianta constructivă, conțin următoarele elemente componente :

- sistemul izolator, constituit din dispozitive și medii electroizolante, prin care se asigură izolația necesară între faze, între faze și pămînt, precum și între contactele deschise ale întreruptorului; mediul electroizolant dintre contactele deschise trebuie să asigure și condițiile necesare stingerii arcului electric de deconectare ;

- căile de curent, conținînd borne de conexiuni, contacte de lucru, contacte alunecătoare și legături flexibile ;

- dispozitivele de stingere a arcului electric de deconectare ;

- sistemul de acționare, constituit din dispozitivul de

acționare propriuzia și din componente constructive necesare transmisiei mișcării la contactele mobile ;

- sistemul de fixare mecanică .

Sistemul izolator determină valorile tensiunii nominale și ale nivelului nominal de izolație care caracterizează un întrepruptor. Definițiile acestor parametri sînt date în § 7.1.

Tensiunile nominale ale întrepruptoarelor fabricate în R.S.R., la care se încearcă și izolația acestora, corespund, de obicei, tensiunii maxime de serviciu a rețelei în care întrepruptoarele se montează; valorile uzuale sînt date în tab.13.1. Se menționează că, în unele cazuri, simbolizarea întrepruptoarelor conține tensiunea nominală a rețelei.

Tab.13.1. (STAS 3686/1-74)

Tensiunea nominală a rețelei, [kV]:									
6	10	15	20	25	35	60	110	220	400
Tensiunea nominală a întrepruptorului, [kV]:									
7,2	12	(17,5)	24	(30)	(42)	(72,5)	123	245	420

Nivelul de izolație nominal trebuie să satisfacă valorile tensiunilor de ținere la undă de impuls și la tensiune de frecvență industrială, date în tab.13.2.

Tab.13.2 (STAS 3686/1-74)

Tensiunea nominală, [kV _{ef}]	Tensiunea de ținere la undă de impuls normală, [kV _{vîrf}]		Tensiunea de ținere 1 minut la frecvență industrială, [kV _{ef}]	
	Izolație plină	Izolație redusă	Izolație plină	Izolație redusă
245	1050	900	460	395
123	550	450	230	185
24	125		55	
12	75		35	
7,2	60		27	

Valorile date pentru nivelul de izolație plină se referă la întrepruptoarele destinate utilizării în rețele cu neutrul izolat sau legat la pămînt prin echipamente de limitare a curentului; valorile referitoare la izolația redusă privesc întrepruptoarele utilizate în rețelele cu neutrul efectiv legat la pămînt.

Curentul nominal în serviciu continuu al unui întrepruptor de înaltă tensiune are valorile limitate de temperaturile admisibile ale căilor de curent, stabilite pentru sollicitarea termică de lungă durată. Intensitatea curentului nominal pentru întrepruptoarele de înaltă tensiune poate lua una din valorile : 400 - 630 - 800 -

1250 - 1600 - 2000 - 2500 - 3150 - 4000 - 5000 - 6000 A .

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

Tipul dispozitivului de stingere a arcului electric și soluția constructivă adoptată pentru acesta determină valorile capacității nominale de rupere la scurtcircuit, definită ca fiind intensitatea maximă a curentului de scurtcircuit pe care întreruptorul îl poate întrerupe funcționînd la tensiune nominală și în condiții prescrise privind tensiunea tranzitorie de restabilire. Capacitatea de rupere nominală la scurtcircuit se exprimă prin două valori ale curentului de rupere, măsurate în momentul separării contactelor și anume : valoarea efectivă a componentei periodice, I_{pr} , respectiv valoarea componentei aperiodice, considerată procentual prin raportare la valoarea de vîrf, $\sqrt{2} I_{pr}$.

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

$$(13.1) \quad S_{pr} = m U_n I_{pr},$$

unde $m=1$ sau $m = \sqrt{3}$, după cum circuitul întrerupt este monofazat, respectiv trifazat, U_n fiind tensiunea nominală.

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

Un alt parametru este capacitatea de închidere nominală la scurtcircuit, i_c , reprezentînd valoarea de vîrf maximă a curentului de scurtcircuit (curent de șoc) pe care un întreruptor îl poate stabili fără sudarea contactelor sau alte degradări mecanice.

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

$$(13.2) \quad i_c = 2,5 I_{pr}.$$

Verificarea condiției referitoare la capacitatea de închidere nominală la scurtcircuit coincide cu îndeplinirea condițiilor privind stabilitatea electrodinamică (v. § 4.5).

Solicitarea termică admisibilă la scurtcircuit a întreruptoarelor de înaltă tensiune este precizată prin durata admisibilă nominală de menținere a curentului de scurtcircuit, reprezentînd intervalul de timp în care căile de curent pot suporta un curent avînd intensitatea egală cu capacitatea de rupere nominală la scurtcircuit, I_{pr} . Valoarea standardizată a duratei admisibile a

curentului de scurtcircuit, limitată de momentul atingerii temperaturii admisibile la scurtcircuit, este de 1 s ; dacă este necesar, se recomandă valoarea de 3 s .

În cadrul automatizării instalațiilor electroenergetice, întreruptoarele de înaltă tensiune sînt obligate uneori să execute o anumită succesiune de manevre; secvența nominală de manevre are una din următoarele forme :

a) $D - t_1 - I D - t_2 - I D$;

b) $I D - t_3 - I D$,

unde D reprezintă operația de deschidere, I D - închidere urmată imediat de deschidere, t_1, t_2, t_3 -durate cu valori prescrise.

Progresele înregistrate în tehnica întreruptoarelor de înaltă tensiune sînt aproape strict determinate de evoluția procedee-
lor și dispozitivelor de stingere a arcului electric de deconec-
tare; o clasificare a întreruptoarelor de înaltă tensiune, care de
fapt reflectă creșterea cronologică a performanțelor acestor
echipamente, este prezentată în tab.13.3.

Tab.13.3

Nr. crt.	Mediul de stingere	Tipul constructiv al camerei de stingere	Tensiunea nominală, kV	Puterea de rupere, MVA
1.	ulei	cu ulei mult în cuvă metalică	10	500
2.	ulei	cu ulei mult	35...330	$(1,5...25)10^3$
3.	ulei	cu ulei puțin	10...765	$(0,5...55)10^3$
4.	apă+glicol	cu apă	10 ...15	1500
5.	solid gazogen	cu autoformare de gaze	10	300
6.	aer	cu aer comprimat la 10...15 at	10...765	$(0,5...85)10^3$
7.	hexafluorură de sulf, SF_6	cu autocompresie sau cu două presiuni	10...765	$(1..100)10^3$
8.	vid	cu vid (10^{-9} at)	10...35 (123)	$(0,5...1)10^3$ (3500)

Capitolul 7

ÎNTRERUPĂTOARE AUTOMATE DE JOASĂ TENSIUNE

7.1. Generalități, caracteristici constructive și funcționale

Întrerupătoarele 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 curenții corespunzători regimurilor normale de funcționare a instalațiilor cât și curenții de scurtcircuit, proprii regimurilor de defect.

Spre deosebire de contactoare, întrerupătoarele automate sunt menținute în poziția închis de către un mecanism de zăvorâre asupra căruia acționează declanșatoarele de protecție, având posibilitatea de a întrerupe și curenții de scurtcircuit, dar ele se pot acționa doar cu frecvență scăzută de comutație.

Pe lângă funcția de comutație, întrerupătoarele automate de joasă tensiune asigură 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 disjunctor la care operația de închidere se face manual, prin comandă de pe aparat sau de la distanță, iar cea de deschidere poate fi efectuată de asemenea manual sau automat, în ultimul caz ca urmare a funcționării declanșatoarelor de protecție. În cazul construcțiilor de tip disjunctor-conjunctor este posibilă și reanclanșarea automată a întrerupătorului.

Valorile nominale ale tensiunii și ale intensității curentului I_n pe care trebuie să le aibă echipamentele electrice de joasă tensiune, implicit întrerupătoarele automate, sunt date în Tab.7.1, Tab.7.2.

Tab.7.1 Valori ale tensiunilor nominale ale echipamentelor de j.t.

Tensiunea nominală,	c.a.	24; 36; 48; 110 sau 127; 220 sau 250; 380; 660; 1000
U_n [V]	c.c.	24; 48; 110; 125; 220; 250; 400; 800 (1000)

Tab.7.2 Valori ale curenților nominali ai echipamentelor de j.t.

Curentul nominal, I_n [A]	2; 4; (5); 6; 10; 16; 25; 32; 40; 63; 80; 100; (125); 160; 200; 250; 315; 400; 630; 800; 1000; 1600; 2000; 2500; 3150; 4000; 5000; 6000
-----------------------------	---

După construcție și timpul de comutație, întrerupătoarele automate de joasă tensiune se clasifică în:

- universale, care pot avea elementele componente plasate pe un cadru metalic (tip OROMAX, ASRO etc.) sau într-o carcasă izolantă (tip USOL, AMRO etc.);
- ultrarapide, folosite în curent continuu, având timpi de acționare cuprinși între 3...15 ms;
- limitatoare, cu timpi de acționare mai mici cel mult egali cu 4 ms;
- speciale, cum sunt cele cu protecție împotriva curenților de defect sau a tensiunilor de defect.

Elementele componente ale unui întrerupător automat de joasă tensiune de tip disjunctor sunt prezentate în Fig.7.1, unde s-au notat: 1-borne de conexiuni, 2-bobine de suflaj magnetic, 3-bloc de contacte auxiliare, 4-contacte principale, 5-declanșatoare maximale de curent, 6-declanșator de minimă tensiune, 7-electromagnet pentru comanda de la distanță, 8-dispozitiv de acționare, 9-manetă pentru acționare manuală, 10-mecanism de zăvorâre.

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

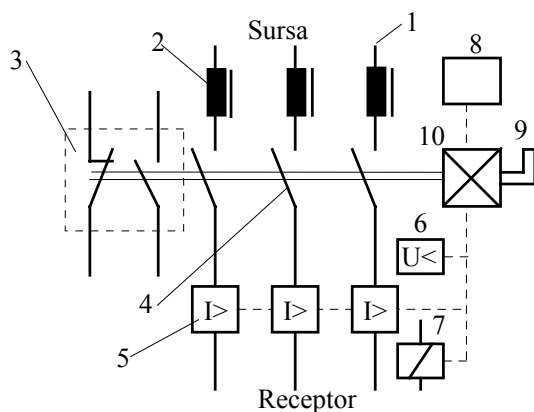
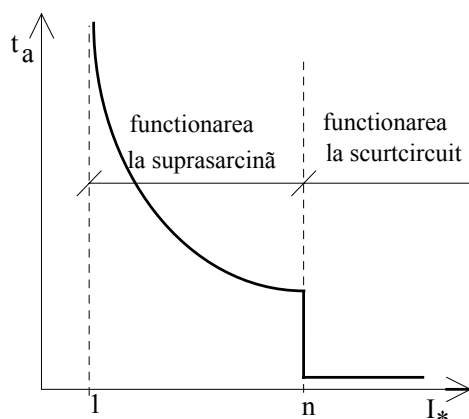


Fig.7.1

Elementele constructive ale unui întrerupător automat

Din acest punct de vedere prezintă interes cunoașterea caracteristicii de protecție timp-curent, curbă care stabilește, pentru condiții de utilizare și funcționare determinate, dependența dintre timpul de funcționare, t_a , al întrerupătorului și intensitatea curentului prezumat simetric (valoare efectivă). Această caracteristică este reglabilă, alura ei fiind prezentată în Fig.7.2.

La montarea unui întrerupător într-o instalație este

**Fig. 7.2**

Caracteristica de protecție timp-curent

necesar ca intensitatea curentului nominal al întrerupătorului 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:

$$I_* = \frac{I_{sc}}{I_R}, \quad (7.1)$$

I_{sc} fiind intensitatea supracurentului care trebuie întrerupt, potrivit caracteristicii timp-curent, Fig. 7.2,

declanșatoarele maxime de curent realizează protecția temporizată la suprasarcină ($1 < I_* \leq n$) și protecția netemporizată (instantanee) la curenți de scurtcircuit ($I_* > n$).

În funcție de tipul declanșatorului, multiplul n al intensității I_R 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 de protecție 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.

Căile de curent și dispozitivele pentru stingerea arcului electric. Fiecare cale de curent principală a unui întrerupător automat de joasă tensiune conține următoarele elemente: bornele de conexiuni; înfășurările bobinelor de suflaj magnetic, contactele principale, legăturile flexibile, declanșatoarele maxime de curent.

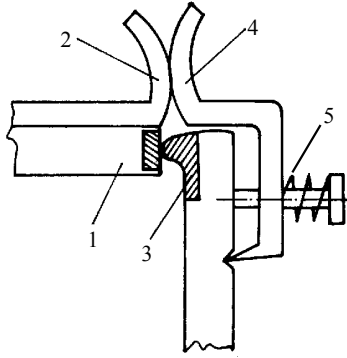


Fig.7.3
Sistem de contacte a
întrerupătoarelor automate

reprezentând contactul mobil de lucru, prevăzut la rândul său cu piesa de contact 4, care servește la întrerupere. Contactele de lucru 1, 3, având piesele de contact executate din argint, asigură, în poziția închis, circulația curentului prin întrerupător.

La deschidere, sub acțiunea resortului 5, piesele 1, 3 ale contactelor de lucru se desprind în avans față de contactele 2, 4 de rupere, arcul electric de comutație amorsându-se între acestea din urmă. La întrerupătoarele existente, contactele de rupere sunt executate din cupru sau din alte materiale rezistente la uzură electrică.

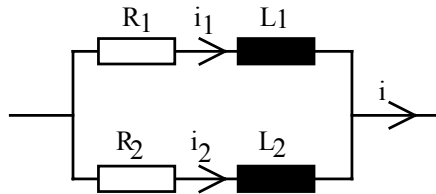
La dimensionare, trebuie realizată o judicioasă repartiție a intensității curentului prin contactele de lucru, respectiv de rupere.

Adoptând pentru sistemul de contacte din Fig.7.3 schema electrică echivalentă dată în Fig.7.4, unde cu indicele 1 sunt notați parametrii corespunzători contactelor de lucru 1, 3, iar cu indicele 2, cei ai contactelor de rupere 2, 4, se pot scrie ecuațiile:

$$R_1 i_1 + L_1 \frac{di_1}{dt} = R_2 i_2 + L_2 \frac{di_2}{dt}, i = i_1 + i_2, \quad (7.2)$$

de unde rezultă:

$$\frac{di_2}{dt} = \frac{1}{L_1 + L_2} \left[R_1 i - (R_1 + R_2) i_2 + L_1 \frac{di}{dt} \right]. \quad (7.3)$$

**Fig.7.4**

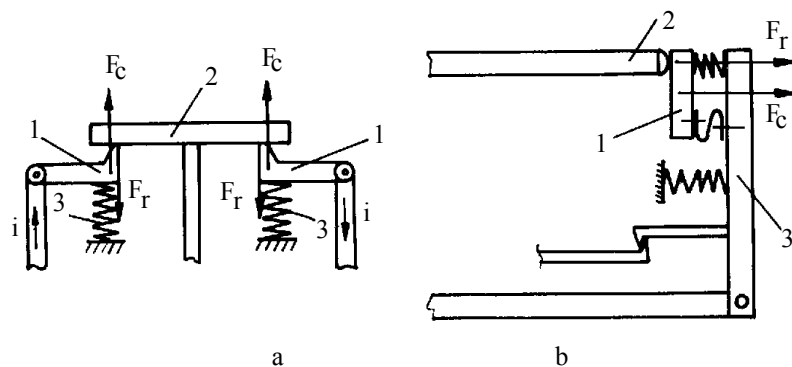
Schema electrică echivalentă a sistemului de contacte din Fig.7.3

Relația (7.3) evidențiază faptul că viteza de creștere a intensității $i_2(t)$ a curentului prin contactele de rupere, obținută la desprinderea contactelor de lucru este cu atât mai mare cu cât inductanțele L_1 , L_2 , proprii celor două contururi, au valori mai mici; valorile mari ale vitezei de creștere di_2/dt sunt necesare pentru a evita amorsarea unui arc electric de comutație între contactele

de lucru. La întrerupătoarele existente intensitatea curentului prin contactele de lucru reprezintă 70...90% din cea totală.

În stabilirea geometriei căilor de curent este necesar să fie avute în vedere efectele forțelor electrodinamice de repulsie în contact și cele ale forțelor de contur, ambele caracterizate prin valori mari, atunci când sunt produse sub acțiunea curenților de scurtcircuit. La întrerupătoarele de mare putere, prin alegerea convenabilă a geometriei căilor de curent în zona contactelor, este posibilă compensarea efectelor de autodeschidere a acestora, produse sub acțiunea forțelor de repulsie, prin forțe electrodinamice de contur. O astfel de soluție constructivă este reprezentată grafic în Fig.7.5a, unde cu F_r s-au notat forțele de repulsie, iar cu F_c - forțele electrodinamice de contur. La scurtcircuit, forțele F_r , care acționează în sensul desprinderii pieselor 1 ale contactului fix, de puntea 2 a contactului mobil sunt compensate de forțele F_c , astfel încât presiunea pe contact, dezvoltată de resorturile 3, își conservă valoarea; uneori este posibilă chiar creșterea forței rezultante de apăsare în contact, pe seama forțelor electrodinamice de contur.

În cazul întrerupătoarelor limitatoare de curent este necesar ca

**Fig.7.5**

Geometria căilor de curent în cazul întrerupătoarelor automate

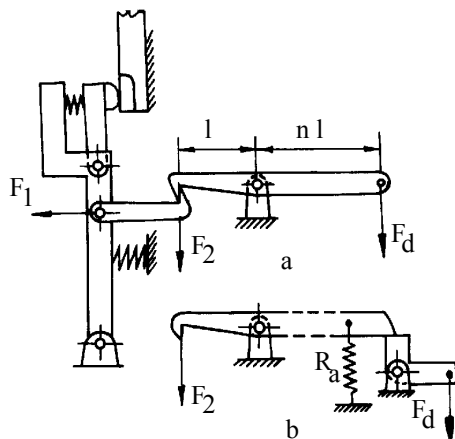


Fig. 7.6

Soluții pentru blocarea întrerupătoarelor

piesa 1, datorită caracterului pulsatoriu al forțelor electrodinamice în curent alternativ, să vibreze pe contactul fix 2, fapt care ar conduce la sudarea contactelor.

Pentru stingerea arcului electric de deconectare, întrerupătoarele automate de joasă tensiune sunt echipate cu camere de stingere, care pot fi cu fantă largă, cu fantă variabilă sau îngustă, prevăzute cu grile izolante (în c.c.) sau metalice (eventual feromagnetice, în c.a.). Camerele de stingere cu fantă largă au rolul de a preîntâmpina formarea unor arcuri electrice între faze sau între faze și pământ, care ar putea transforma deconectarea unui curent de regim normal, într-un scurtcircuit.

Camerele de stingere cu grile izolante echipează întrerupătoarele de curent continuu, arcul electric fiind stins prin alungirea coloanei și prin răcirea acesteia în contact cu pereții camerei.

În camerele de stingere cu grile metalice, întâlnite în construcția întrerupătoarelor de curent alternativ, arcul electric este stins pe seama deionizării și a efectului de electrod.

Mecanismul de acționare al unui întrerupător automat de joasă tensiune asigură închiderea și menținerea în această poziție a echipamentului, deschiderea prin comandă operativă sau sub acțiunea declanșatoarelor de protecție, precum și deschiderea liberă, care constă în blocarea acțiunii de închidere în prezența unei comenzi de declanșare, astfel încât, în această situație, întrerupătorul nu poate fi nici închis, nici menținut în poziția închis.

Pentru realizarea acestor funcții, în construcția mecanismelor întrerupătoarelor se folosesc clichete, pârghii cu genunchi și combinații ale acestora. Cu ajutorul

deschiderea contactelor să fie accelerată, în acest scop efectul forțelor de repulsie fiind suplimentat prin aportul forțelor electrodinamice de contur; o variantă constructivă de acest gen este prezentată în Fig. 7.5b, unde forțele electrodinamice de repulsie, F_r și cele de contur, F_c , acționează în sensul desprinderii piesei de contact 1, de pe contactul fix 2. La aceste întrerupătoare este necesar ca mecanismul de acționare să dezvolte viteze de deplasare suficient de mari, astfel încât contactul mobil 3 să fie antrenat în mișcarea de deschidere înainte ca

acestor dispozitive este posibilă demultiplicarea valorilor forței de declanșare, F_d , produsă de declanșatoarele cu care este echipat întrerupătorul, știut fiind că sensibilitatea acestora este cu atât mai mare, cu cât forța F_d are valori mai mici.

În Fig.7.6a este reprezentată o soluție constructivă la care blocarea în poziția închis a întrerupătorului se face prin clichet.

Pentru deschidere este necesar ca forța de declanșare, F_d , să învingă forța de frecare în clichet, F_2 , deci trebuie îndeplinită condiția:

$$nF_d = k_s F_2 = k_s \mu_f F_1, \quad (7.4)$$

de unde rezultă:

$$F_d = \frac{1}{n} k_s \mu_f F_1, \quad (7.5)$$

F_1 fiind forța de deschidere, μ_f -coeficientul de frecare în clichet, $k_s=1,5...2$ -un coeficient de siguranță, n -raportul de demultiplicare al clichetului.

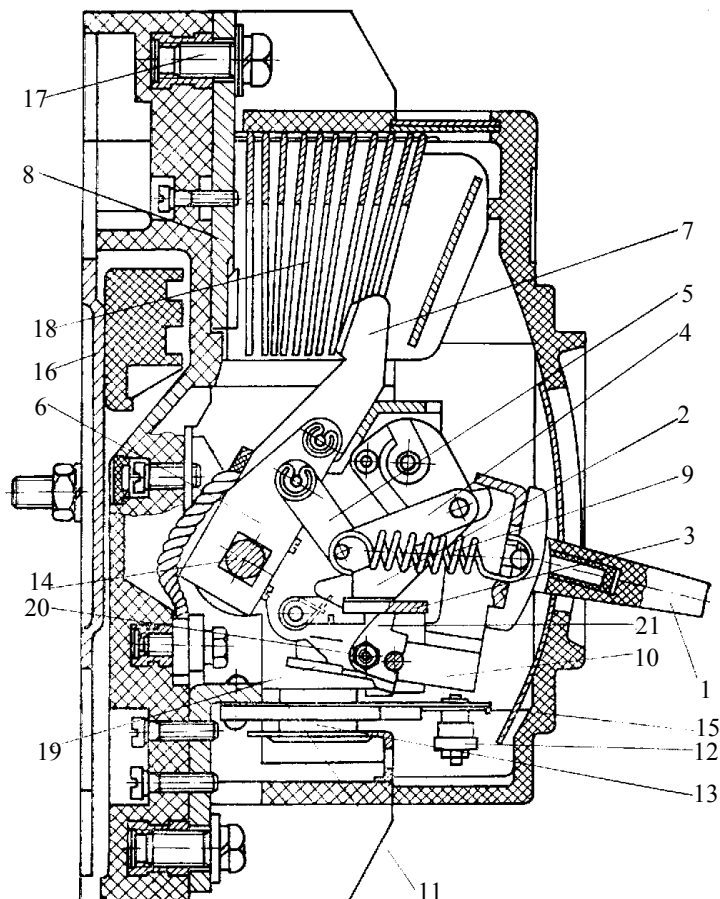
Construcția din Fig.7.6a permite obținerea unor valori $F_1/F_d=20...25$; pentru a micșora și mai mult forța necesară declanșării, se poate utiliza un clichet suplimentar, Fig.7.6b, prevăzut cu un resort R_a , acumulator de energie.

7.2. Întrerupătoare automate de tip compact

Specific pentru un întrerupător automat de tip compact este faptul că întreaga construcție a acestuia este închisă într-o carcasă izolantă. În această variantă, în țara noastră se produc seriile de întrerupătoare automate de joasă tensiune de tip AMRO și USOL. În instalații pot fi întâlnite și întrerupătoare de fabricație străină, cum ar fi Merlin-Gerin, Westinghouse etc.

Întrerupătoarele de tip USOL se fabrică pentru tensiunea trifazată de 660 V și pentru curenții nominali având intensitățile de 250-500-630-800 A; în variantă bipolară, aceste întrerupătoare sunt destinate utilizării în instalații de curent continuu, cu tensiunea nominală de 220 V.

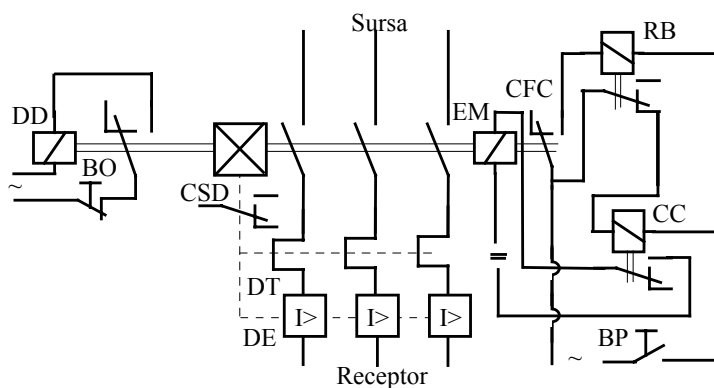
Întrerupătoarele de tip USOL se construiesc atât în variantă fixă, cât și în variantă debroșabilă. În variantă debroșabilă, construcția este prevăzută cu un soclu care conține contacte fixe cu borne de conexiuni, precum și o șină de ghidare, pe care întrerupătorul poate fi deplasat la montare-demontare. În variantă fixă, bornele de conexiuni pot fi amplasate fie în fața, fie în spatele construcției (simbolizare LF, respectiv LS).

**Fig.7.7**

Înterupător automat de joasă tensiune tip USOL 250

Desenul de construcție al unui întrerupător automat de joasă tensiune de tip compact USOL 250 A este dat în Fig.7.7 unde s-a notat: 1-matetă de acționare, 2-clichet principal, 3-clapeta de armare, 4-biela I, 5-biela II, 6-echipaj mobil, 7-element mobil de contact, 8-element fix de contact, 9-resort principal, 10-clapetă ax declanșator, 11-declanșator termic, 12-buton de reglaj $(0,8...1)I_T$, 13-miez fix pentru declanșatorul electromagnetic, 14-axul suport al echipajului mobil, 15-carcasa întrerupătorului, 16-placă de prindere, 17-borne de racord, 18-camere de stingere cu plăci feromagnetice, 19-armătura mobilă a declanșatorului electromagnetic, 20-axul declanșatorului, 21-clichet mic.

În Fig.7.8 este reprezentată schema electrică de acționare cu electromagnet a unui întrerupător de tip USOL; se menționează că se

**Fig.7.8**

Schema electrică a unui USOL acționat cu electromagnet

construiesc și variante acționate prin servomotor. Notățiile au următoarele semnificații: DT-declanșator termic, DE-declanșator electromagnetic, CSD-contact de semnalizare a funcționării declanșatoarelor, DD-electromagnet de deschidere, CFC-contact de sfârșit de cursă, EM-electromagnet de acționare, CC-contactor de comandă, RB-releu de blocaj, BP, BO-butoane de comandă pentru închidere, respectiv deschidere.

Contactele principale ale întrerupătoarelor USOL sunt de tip deget, realizate din Ag-Ni. 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.

Schema cinematică de principiu a mecanismului de acționare cu care sunt prevăzute întrerupătoarele automate de joasă tensiune din seria USOL, este prezentată în Fig.7.9, unde s-a notat: 1-contact fix, 2-contact mobil, 3-legătură flexibilă, 4-manetă de acționare, 5...8-pârghii articulate, 9-resort acumulator de energie, 10-resort de blocare.

Forța de apăsare în contact, în poziția închis a acestuia, este asigurată de resorturi precomprimate, nefigurate.

Acumularea energiei necesare atât pentru închidere cât și pentru deschidere se obține prin tensionarea resortului 9. La închidere, tensionarea resortului acumulator de energie, 9, are loc prin ridicarea manetei 4, din poziția inițială figurată, până când resortul 9 devine paralel cu pârghia 7; imediat după depășirea acestei poziții, resortul 9 se comprimă liber, mișcarea fiind transmisă, prin pârghia 6, contactului mobil 2. Deschiderea întrerupătorului se obține prin coborârea manetei 4.

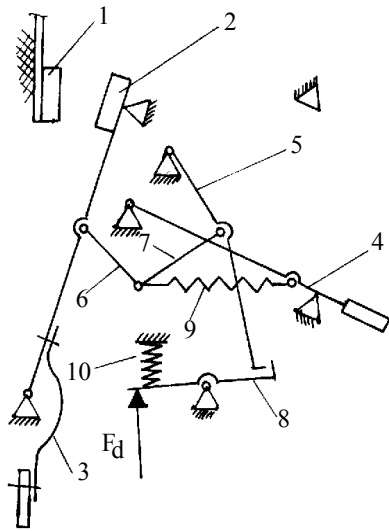


Fig.7.9

Schema cinematică de principiu a întrerupătorului USOL

Dispozitivul de liberă deschidere, alcătuit din pârghiile cu clichet 5, 8 și din resortul de blocare 10, asigură fie deschiderea automată a întrerupătorului, fie refuzul blocării acestuia în poziția închis, atunci când forța F_d , produsă de declanșatoare, acționează asupra pârghiei 8.

Caracteristica de protecție timp-curent a întrerupătoarelor USOL are alura celei reprezentate grafic în Fig.7.2; aceasta este reglabilă și se obține ca urmare a funcționării declanșatoarelor de curent.

Pentru realizarea protecției temporizate la curenți de suprasarcină, întrerupătoarele USOL sunt prevăzute cu declanșatoare termice de tip lamelă bimetal, protecția la scurtcircuit obținându-se prin acțiunea rapidă a declanșatoarelor electromagnetice.

Fiecare cale de curent a unui întrerupător conține un declanșator termic și unul electromagnetic; toate declanșatoarele întrerupătorului acționează asupra unei pârghii comune, după o schemă logică SAU, forța de declanșare F_d aplicându-se mecanismului de acționare.

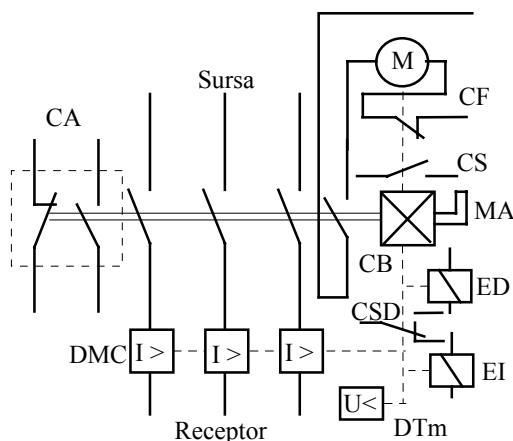
Reglarea caracteristicii de protecție se face de pe aparat, prin modificarea săgeților lamelor bimetal, respectiv prin stabilirea unei valori corespunzătoare pentru întrefierul inițial al electromagneților declanșatoarelor de protecție la scurtcircuit.

Din aceeași categorie, a întrerupătoarelor automate de joasă tensiune de tip compact, fac parte și cele din seria AMRO. Sub raport constructiv și privitor la funcțiile îndeplinite, întrerupătoarele AMRO sunt similare celor USOL, cu deosebirea ca seria AMRO se fabrică pentru tensiunea nominală trifazată de 660 V, dar pentru intensități ale curentului nominal de 10-16-25-40-100 A.

7.3. Întrerupătoare automate în construcție deschisă

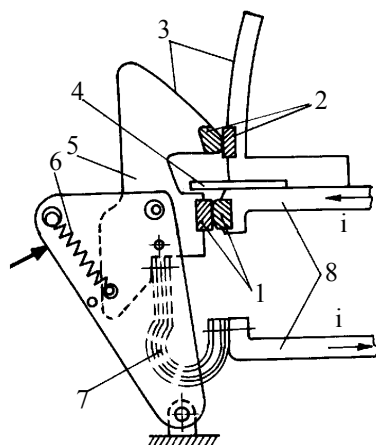
Din această categorie, în țară se fabrică întrerupătoarele de tip OROMAX, respectiv ASRO.

Întrerupătoarele OROMAX au tensiunea nominală trifazată de 660 V, fiind produse în variantă tripolară (1000-1600-2000-2500-4000 A), respectiv

**Fig.7.10**

Schema electrică a unui întrerupător OROMAX

armare, CF-contact de sfârșit de cursă, CS-contact pentru semnalizarea armării resorturilor, MA-mecanism de acționare cu acumulare de energie în resorturi, CB-contact de blocare, ED, EI-electromagneți de deschidere, respectiv de închidere, DMC-declanșator maximal de curent, CSD-contact de semnalizare a deschiderii prin intermediul declanșatoarelor, DTm-declanșator de tensiune minimă, CA-bloc de contacte auxiliare.

**Fig.7.11**

Sistemul de contacte al întrerupătoarelor OROMAX

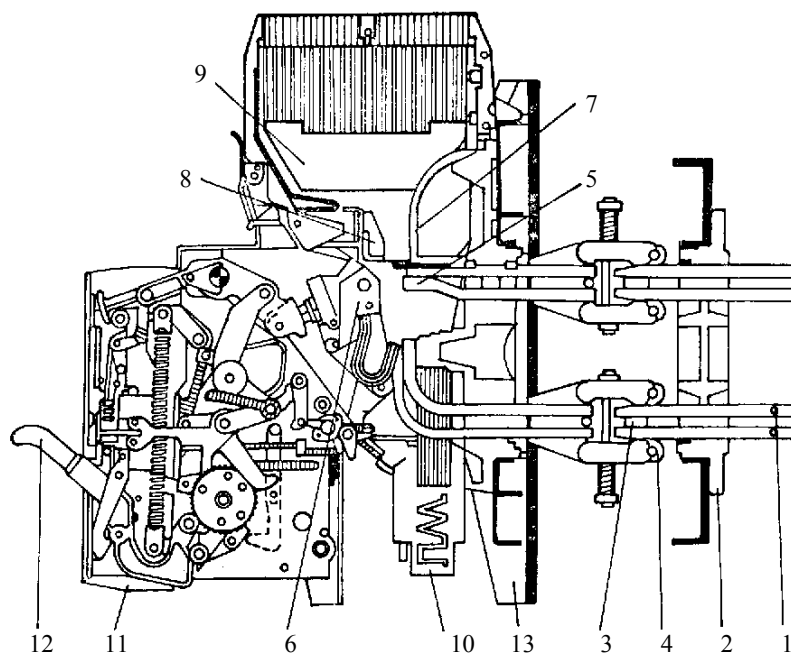
tetrapolară (1000-1600-2000-2500 A). Întrerupătoarele automate ASRO se realizează în variantă tripolară, pentru tensiunea nominală de 660 V și pentru intensități ale curentului nominal de 1000-1600-2000 A.

Schema electrică de principiu a unui întrerupător automat de joasă tensiune de tip OROMAX, la care armarea resorturilor mecanismului de acționare se face cu servomotor, este prezentată grafic în Fig.7.10.

Notațiile au următoarele semnificații: M-motor pentru

Date fiind valorile mari ale intensităților curentilor nominali și ale capacităților de rupere, contactele întrerupătoarelor OROMAX sunt prevăzute cu zone specializate pentru lucru, respectiv pentru rupere; sistemul de contacte al acestor întrerupătoare este dat în Fig.7.11, unde s-a notat: 1-contactele de lucru, 2-contactele de rupere, 3-rampe pentru preluarea extremităților arcului electric, 4-separator de arc electric, 5-piesă de contact mobil, 6-resort pentru asigurarea presiunii pe contact, 7-legătură flexibilă, 8-cale de curent.

Soluția tehnică adoptată pentru sistemul de contacte asigură, la deschidere, localizarea zonei de amorsare

**Fig.7.12**

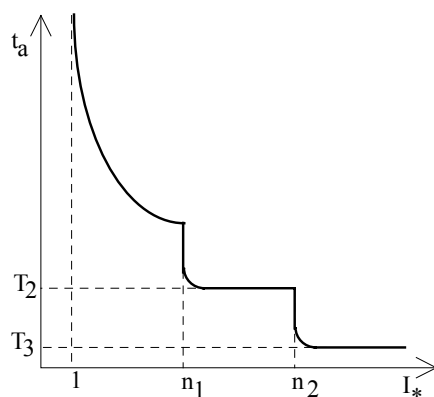
Întreprupător automat de joasă tensiune tip OROMAX 4000

a arcului electric pe contactele de rupere 2, confecționate din aliaj Cu-W, rezistent la uzură electrică; în poziția închis, curentul parcurge în principal contactele de lucru 1, având rezistență mică de contact, deoarece materialul pieselor de contact este aliajul Ag-Ni.

Stingerea arcului electric de deconectare se obține în camere de stingere având pereții realizați din ceramică electrotehnică, material rezistent la temperaturi înalte și la variații rapide ale acestora, camerele de stingere fiind prevăzute cu grile metalice.

Mecanismul de acționare al întreprupătoarelor OROMAX este cu acumulare de energie în resorturi, armarea acestora fiind făcută fie manual, fie cu ajutorul unui electromotor.

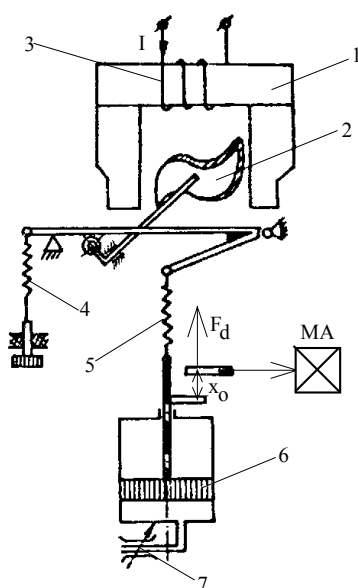
Elementele constructive principale ale unui întreprupător debroșabil OROMAX 4000 sunt prezentate în Fig.7.12, unde au fost notate: 1-bornele fixe, 2-socul fix, 3-contactele fixe ale soclului, 4-contactele mobile tip rolă, 5-contactele principale fixe, 6-contactele principale mobile, 7-contactele de rupere fixe, 8-contactele de rupere mobile, 9-camara de stingere, 10-declanșatoarele de

**Fig. 7.13**

*Caracteristica de protecție timp-curent
a unui întrerupător OROMAX*

caracteristică de protecție timp-curent, Fig. 7.13, cu largi posibilități de reglare.

Porțiunea corespunzătoare protecției temporizate la suprasarcină, $I_* = 1 \dots n_1$, se obține cu ajutorul dispozitivului declanșator din Fig. 7.14, care înglobează un element de temporizare de tip pneumatic.

**Fig. 7.14**

*Dispozitivul declanșator cu
temporizare pneumatică*

curent, 11-mecanismul de acționare, 12-maneta de armare a resorturilor, 13-cadrul de tablă al întrerupătorului.

Întrerupătoarele automate de joasă tensiune tip OROMAX sunt echipate cu declanșatoare maxime de curent simbolizate H, respectiv MK.

Declanșatoarele maxime de curent tip MK sunt declanșatoare primare (se montează fără transformatoare de curent) monopolare, realizate în variantă electromagnetică. Reprezentând un complex format din trei dispozitive cu funcționare și reglaje independente, declanșatorul tip MK realizează o

Elementul sensibil este constituit dintr-un electromagnet având armătura fixă 1 și armătura mobilă rotitoare 2; bobina 3 a acestuia este parcursă de curentul supravegheat.

La depășirea valorii I_R a intensității curentului reglat, stabilită prin tensionarea resortului antagonist 4, deplasarea armăturii mobile 2 se transmite, prin intermediul resortului 5, pistonului 6. După temporizarea necesară parcurgerii distanței constante x_0 , se obține comanda de declanșare, forța F_d fiind aplicată mecanismului de liberă deschidere. Pentru acest domeniu al curenților de suprasarcină temporizarea se reglează cu ajutorul ajutorului 7, prin care se face admisia aerului din atmosferă sub pistonul 6.

Porțiunea caracteristicii timp-curent corespunzătoare domeniului $n_1 \leq I_* < n_2$, se obține cu ajutorul unui dispozitiv declanșator prevăzut cu element de temporizare de tip mecanism de orologerie cu balansier. Temporizarea T_2 este reglabilă în trepte și poate lua valorile 0,1; 0,3; 0,5 s.

Dispozitivul declanșator care funcționează sub acțiunea curenților de scurtcircuit, $I_* \geq n_2$, este de tip electromagnetic, fără temporizare.

Înterupătoarele OROMAX utilizate în instalațiile de alimentare a electromotoarelor sunt prevăzute cu declanșatoare de minimă tensiune, care comandă, eventual cu o mică temporizare deschiderea înterupătorului dacă tensiunea la bornele acestuia scade sub valoarea $0,7U_n$, operația de închidere fiind permisă numai pentru tensiuni la borne de minimum $0,85U_n$, unde U_n este tensiunea nominală.

Capitolul 5

SEPARATOARE ELECTRICE

5.1. Caracteristici constructive și funcționale

Separatoarele sunt echipamente de comutație care au rolul de a realiza, între contactele deschise, o distanță de separare vizibilă, având valori specificate, cu scopul asigurării protecției personalului de exploatare care efectuează lucrări în zone ale instalațiilor în prealabil scoase de sub tensiune.

Deoarece este necesară asigurarea vizibilității nemijlocite a stării deschise a contactelor, separatoarele nu posedă dispozitive de stingere a arcului electric. Deci, capacitatea de deconectare a separatoarelor este foarte mică, limitată la valori care să permită stingerea naturală a arcului electric. Rezultă de aici că separatoarele pot fi utilizate ca echipamente de comutație numai în instalații care nu se află în sarcină având intensități de valori mici, cum sunt curenții de mers în gol ai transformatoarelor de mică putere și ai liniilor electrice.

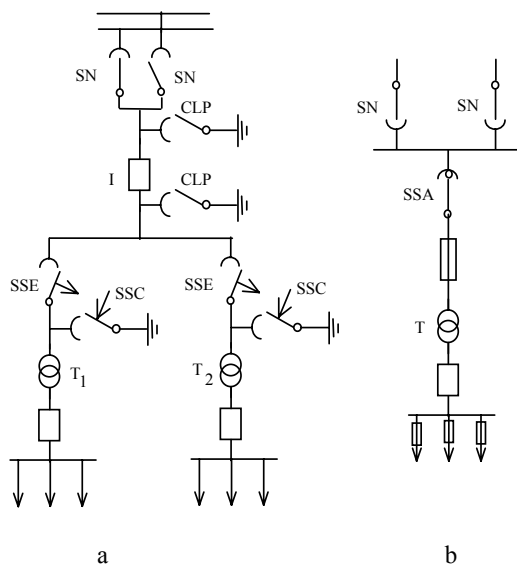
Căile de curent ale unui separator trebuie să permită, fără depășirea temperaturilor admisibile, circulația pe durate nelimitate a curenților în regim normal de sarcină și pe durate limitate de stabilitatea termică, a curenților de suprasarcină și de scurtcircuit.

Nivelul de izolație între contactele deschise ale unui separator trebuie să fie superior atât nivelului de izolație al acestuia față de pământ cât și nivelului de izolație realizat între contactele deschise ale altor echipamente de comutație.

Deși se fabrică atât pentru joasă cât și pentru înaltă tensiune, separatoarele sunt utilizate cu precădere ca echipamente de înaltă tensiune.

În Fig.5.1 se prezintă exemple de utilizare a diverselor tipuri de separatoare, unde s-au notat: SN-separator normal, denumit în mod obișnuit separator, CLP-separator (cuțit) de legare la pământ, SSA-separator de sarcină, SSE-separator de secționare, SSC-separator de scurtcircuitare (scurtcircuitor).

Separatoarele normale, SN, sunt echipamente de comutație, acționarea lor se face fără curent, ce asigură o separare galvanică vizibilă în circuitele în care sunt montate. Separatoarele (cuțitele) de legare la pământ, CLP, se folosesc pentru protejarea unei zone din instalație, în care personalul de exploatare execută lucrări de mentenanță, punând la pământ fazele rețelei în absența tensiunii.

**Fig.5.1**

*Scheme de utilizare a separatoarelor:
a-comanda și protecția cu un singur întrerupător a
două transformatoare; b-post
de transformare cu alimentare buclată*

Separatoarele de secționare, SSE, sunt echipamente electrice cu deconectare automată rapidă determinată de echipamentele de protecție, pentru separarea de la rețea a sectoarelor avariate, funcționând în pauza ciclului de RAR. Separatoarele de scurtcircuitare (scurtcircuitoarele), SSC, sunt echipamente electrice de conectare automată a unei rețele la pământ, în caz de avarie, prin care se provoacă un scurtcircuit artificial, ce determină funcționarea întrerupătorului. Separatoarele de sarcină, SSA, sunt echipamente de comutație capabile să întrerupă curenți în regimuri normale de funcționare a instalațiilor.

Principalele elemente constructive ale oricărui tip de separator sunt căile de curent, ansamblul izolator, dispozitivul de acționare și componentele auxiliare, necesare asamblării și montării în instalație.

Căile de curent conțin sistemul de contacte, conexiunile flexibile între elementele constructive fixe și cele mobile, bornele de conexiuni.

La construcțiile existente, sistemul de contacte este construit dintr-un contact fix și altul mobil sau din două contacte mobile, realizate de obicei sub formă de cuțit. Unele construcții sunt prevăzute și cu cuțite de legare la pământ (CLP), care permit conectarea la pământ a unor porțiuni din instalații, în prealabil scoase de sub tensiune.

Alegerea materialului și a profilului acestuia pentru construcția cuțitelor de contact trebuie să urmărească obținerea uniformizării densității de curent pe suprafața secțiunii transversale, realizarea unei răcirii eficiente pe durata funcționării și a unei bune rezistențe mecanice. În Fig.5.2 sunt reprezentate câteva profiluri, de obicei din cupru, utilizate în construcția cuțitelor de contact ale separatoarelor; cele din Fig.5.2c,d,e răspund mai bine cerințelor menționate mai sus.

Contactele separatoarelor destinate funcționării în instalații exterioare au o construcție specifică, astfel încât, anterior deschiderii, să fie posibilă spargerea și înlăturarea unui eventual strat de gheață ce s-ar forma pe suprafața acestora; câteva variante constructive de acest gen sunt reprezentate grafic în Fig.5.3.

Sub acțiunea curenților de scurtcircuit asupra căilor de curent ale separatoarelor se exercită forțe electrodinamice de contur, ale căror momente active, M_a , Fig.5.4, pot avea ca efect autodeschiderea nedorită a contactelor. Evitarea autodeschiderii separatoarelor este posibilă fie prin blocarea mecanică, în poziția închis, a contactelor acestora, fie prin compensarea momentelor active M_a , prin momente rezistente M_r , produse de forțele de frecare între piesele de contact.

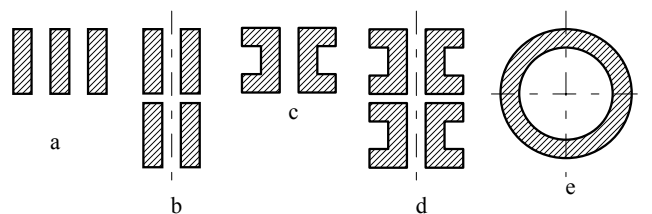


Fig.5.2

Profiluri ale cuțitelor separatoarelor

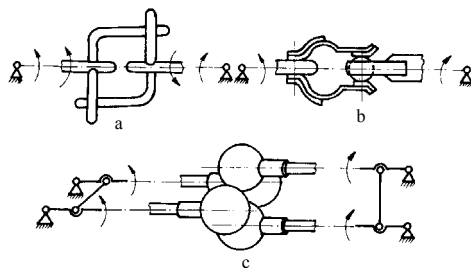


Fig.5.3

Soluții constructive pentru spargerea gheții

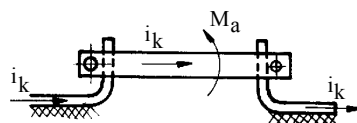


Fig.5.4

Efectul de autodeschidere

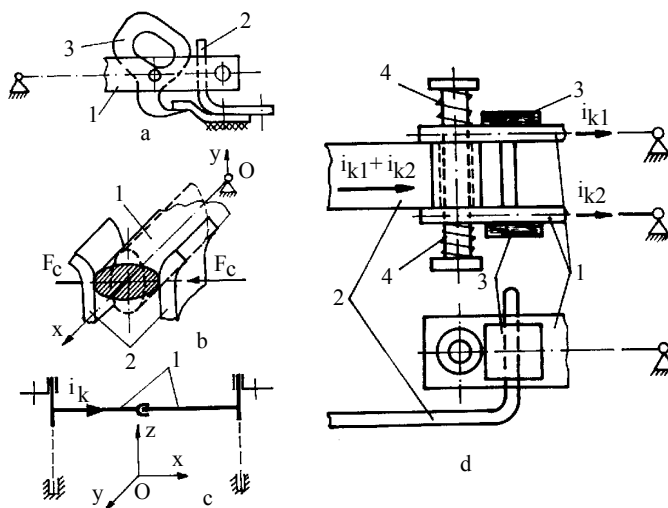


Fig.5.5

Soluții pentru compensarea efectului de autodeschidere

Câteva soluții constructive utilizate pentru compensarea efectului de autodeschidere a contactelor sunt reprezentate grafic în Fig.5.5. Blocarea mecanică în poziția închis a cuțitului de contact 1 se poate face direct, cu ajutorul piesei 3 de blocare, Fig.5.5a, sau prin elemente de blocare mecanică introduse în lanțul cinematic de transmisie a mișcării de la dispozitivul de acționare, la cuțit.

În acest sens, Fig.5.5b, blocarea-deblocarea la închidere-deschidere se obține în urma rotirii în jurul axei proprii, Ox , a cuțitului de contact; închiderea și

deschiderea separatorului se realizează prin rotirea cuțitului 1 în planul xOy. De obicei, în zona de contact, secțiunea transversală a cuțitului este eliptică astfel încât prin rotirea acestuia în jurul axei proprii se obține atât creșterea forței de apăsare în contact, la închidere, cât și spargerea stratului de gheață depus pe contacte, la deschidere.

La separatoarele rotative de exterior, Fig.5.5c, eforturile produse de forțele electrodinamice de contur, care se exercită în planul xOz sunt preluate de structura de rezistență a separatorului, fără a avea ca efect autodeschiderea acestuia, deoarece mișcarea cuțitelor mobile de contact, 1, are loc în planul xOy.

În cazul separatoarelor de tip cuțit, Fig.5.5d, forțele electrodinamice de contur sunt compensate prin forțe de frecare între lamelele 1 ale contactului mobil și contactul fix; forțele de frecare se obțin pe seama atât a forțelor de apăsare produse de resorturile precomprimate 4, cât și a forțelor electrodinamice dintre căile de curent ale contactului mobil, paralele și parcurse de curenții i_{k1} , i_{k2} în același sens. Efectul de apăsare electrodinamică a lamelelor contactului mobil 1 pe contactul fix 2 poate fi întărit prin amplasarea în zona de contact a pieselor feromagnetice 3.

Ansamblul izolator al separatoarelor conține izolatoarele suport ale contactelor precum și alte dispozitive electroizolante necesare pentru transmiterea mișcării de la dispozitivul de acționare, la contactele mobile.

Dispozitivul de acționare servește pentru închiderea și deschiderea contactelor principale și pentru acționarea cuțitelor de legare la pământ; pentru acționarea separatoarelor se utilizează dispozitive manuale, cu resorturi, pneumatice și cu motor electric.

5.2. Tipuri constructive de separatoare

După tipul instalației în care se montează, separatoarele pot fi de interior, respectiv de exterior; ambele variante se construiesc cu număr variabil de poli: monopolare, bipolare, tripolare, cu sau fără cuțite de legare la pământ.

Separatoare de tip cuțit. Contactele mobile ale separatoarelor de acest tip sunt realizate sub forma unor cuțite care se pot roti în planul izolatoarelor suport ale fiecărui pol. Se construiesc pentru instalații de medie tensiune ($1 \text{ kV} \leq U_n \leq 35 \text{ kV}$) și pot fi montate în instalații fie de interior, fie de exterior. Unele variante sunt prevăzute cu cuțite de legare la pământ, iar altele, cu siguranțe fuzibile, în locul cuțitelor de contact. Se fabrică în variante monopolare și tripolare.

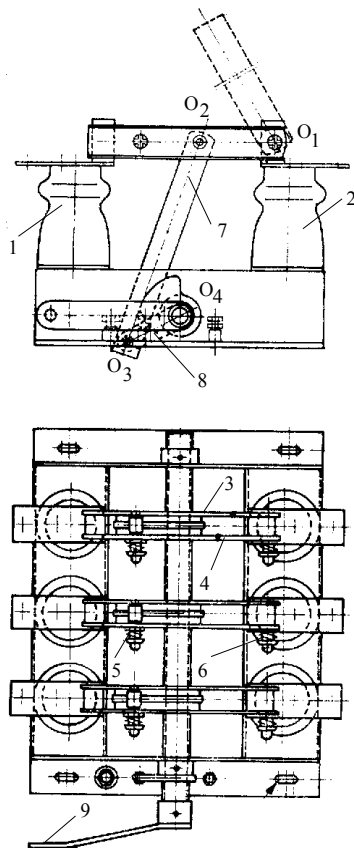
În Fig.5.6 este prezentată construcția unui separator tripolar de interior, de 10...35 kV/200...800 A. Polii separatorului sunt susținuți de izolatoarelor

suport 1, 2. Cuțitul mobil este constituit din barele de cupru 3, 4, forța de apăsare în contact fiind asigurată cu resorturile precomprimate 5, 6.

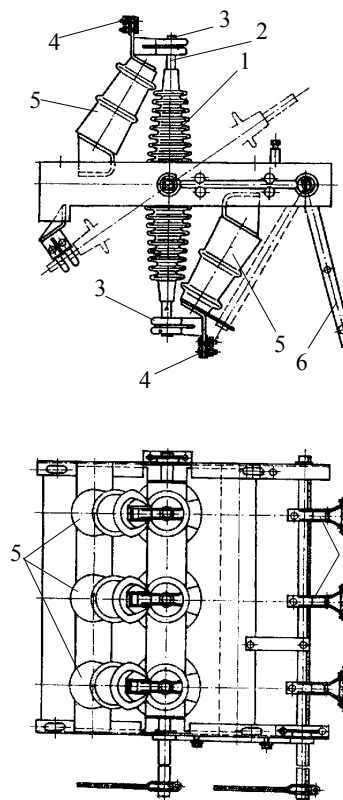
Mecanismul de transmisie a mișcării este de tip patruleter, conținând articulațiile fixe O_1 , O_4 și articulațiile mobile O_2 , O_3 . La acționarea pârghiei 9, este rotit axul O_4 , prin intermediul tijei electroizolante 7 și a manivelei 8 - solidară cu axul O_4 - mișcarea fiind transmisă cuțitelor mobile 3, 4. Pentru acționare se utilizează dispozitive manuale sau pneumatice.

Separatoare rotative. Acestea se construiesc pentru instalații atât de interior cât și de exterior, acoperind domeniul tensiunilor nominale 10...400 kV. În funcție de soluția constructivă, aceste separatoare pot realiza întreruperea în două locuri sau într-un singur loc pe calea de curent. În Fig.5.7 este reprezentată grafic construcția unui separator tripolar rotativ de medie tensiune (10-20 kV, 400-630 A), destinat amplasării în instalații interioare.

Pe fiecare fază, separatorul este prevăzut cu un contact mobil rotativ, realizat din izolatorul de trecere 1, străbătut în interior de tija metalică 2. Contactele fixe 3 și bornele de conexiuni 4 sunt fixate pe izolatorii suport 5. Separatorul este prevăzut cu cuțitul de legare la pământ 6.

**Fig.5.6**

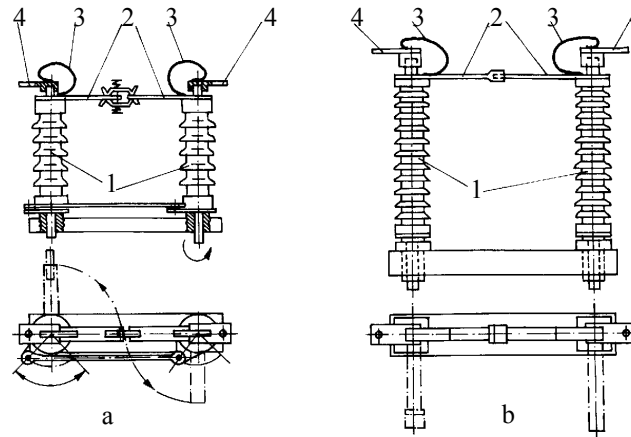
*Separator tripolar de interior
de tip cuțit*

**Fig.5.7**

*Separator tripolar rotativ de medie
tensiune*

Această construcție are avantajul întreruperii circuitului în două locuri pe calea de curent; de asemenea, utilizarea izolatorului de trecere cu rol de contact mobil, elimină în mod avantajos din construcție eventualele conexiuni flexibile sau contacte alunecătoare.

La alte construcții de separatoare rotative, Fig.5.8, transmisia mișcării de la dispozitivul de acționare la contactele mobile se obține cu ajutorul izolatoarelor suport 1, care se rotesc în jurul axelor proprii. Cuțitele de contact 2 se pot deschide fie de o parte și de alta a polului separatorului, Fig.5.8a, fie de aceeași parte, Fig.5.8b; cu 3 sunt notate conexiunile flexibile, 4 reprezentând

**Fig.5.8**

Variante constructive de separatoare rotative de exterior

bornele de racord. Separatoarele date în Fig.5.8 sunt echipamente de exterior, construite pentru tensiuni nominale de 35...220 kV. Unele variante sunt prevăzute cu cuțite de legare la pământ.

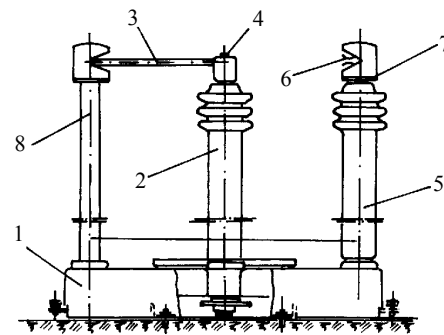
Acționarea acestor separatoare se face cu dispozitive manuale, pneumatice sau electrice; separatoarele cu tensiunea nominală de 220 kV sunt acționate numai pneumatic sau electric.

Separatoarele rotative construite pentru tensiunea nominală de 400 kV sunt monopolare, având două semicuțite, cu deschidere în planul vertical al izolatoarelor suport. Acest tip de separator este prevăzut cu dispozitive de acționare electrică.

Tot din categoria separatoarelor rotative fac parte și separatoarele pentru electrofiltre. Acestea se construiesc pentru tensiuni redresate de 76 kV și 106 kV, intensitatea curentului nominal fiind de 3 A.

Separatorul rotativ pentru electrofiltre, Fig.5.9, este format dintr-un soclu metalic 1, pe care este montat izolatorul rotativ 2, prevăzut cu cuțitul de contact 3 și o bornă de racord 4 la care conexiunea se execută cu conductoare flexibile.

Construcția separatorului conține de asemenea un izolator

**Fig.5.9**

Separator pentru electrofiltre

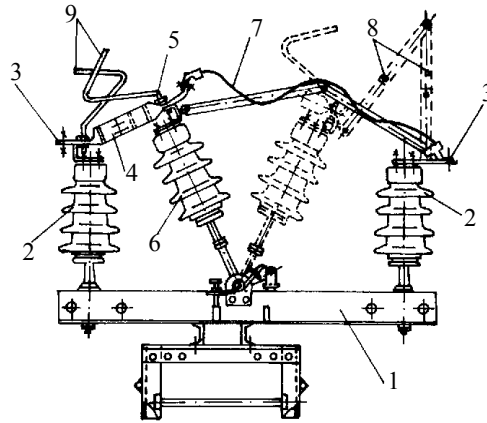


Fig. 5.10

Separator basculant amplasat la sol
Fig. 5.10 sau suspendate, Fig. 5.11.

Separatoarele basculante montate la sol sunt construite dintr-un cadru metalic 1, pe care se fixează izolatoarele suport 2, de tip nestrăpungibil, având armare cu flanșă la partea superioară și cu tijă, la partea inferioară. Pe aceste izolatoare sunt dispuse bornele de racord 3 și contactul fix 4; contactul mobil 5 este fixat pe flanșa izolatorului suport 6, care, la acționarea separatorului, execută o mișcare de basculare în planul izolatoarelor suport 2.

Calea de curent mai conține conexiunea flexibilă 7, sprijinită pe barele articulate 8. Contactele separatorului sunt prevăzute cu rampele 9, având rol de protecție a construcției la acțiunea unui eventual arc electric de deconectare. Acționarea acestor separatoare se face cu dispozitive manuale.

Separatoarele basculante suspendate au avantajul montării directe pe linia electrică aeriană; nu necesită fundații și permit micșorarea suprafețelor ocupate de echipamente.

Construcția unui astfel de separator, Fig. 5.11, este alcătuită din lanțurile

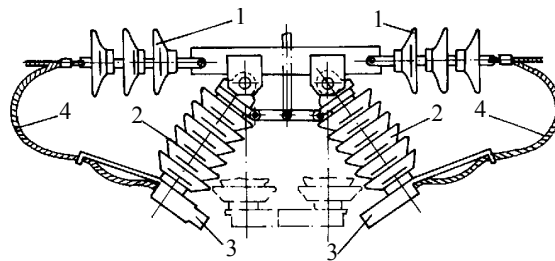


Fig. 5.11

Separator basculant suspendat

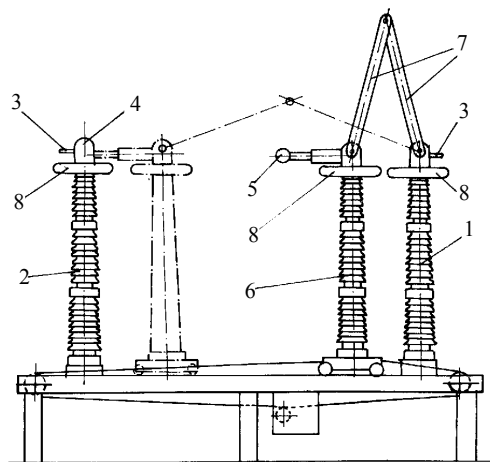
suport 5, prevăzut cu contactul fix 6 și borna de racord 7 precum și un pol de legare la pământ, 8.

Acționarea izolatorului rotativ 2 se poate face manual, prin intermediul unei roți dințate cu transmisia mișcării prin lanț sau cu ajutorul unui electromagnet, comandat de la distanță.

Separatoare basculante.

Ele se construiesc pentru tensiuni medii (10-20 kV, 400-630 A) și sunt în mod obișnuit tripolare, de tip exterior; se pot amplasa la sol,

de izolatoare 1 și izolatoarele suport 2, pe care sunt amplasate contactele mobile 3; calea de curent a unui pol este întregită prin conexiunile flexibile 4. Izolatoarele suport 2, realizate în construcție nestrăpungibilă, armate cu

**Fig.5.12**

Separator de translație cu mișcare orizontală

flanșe la ambele capete, execută la acționarea separatorului o mișcare de basculare în plan vertical.

Separatoare de translație. Construcțiile de acest tip sunt realizate pentru instalații exterioare, având tensiuni nominale de cel puțin 220 kV.

La acționarea acestor separatoare, contactul mobil execută o mișcare de translație fie după o direcție orizontală, în cazul construcțiilor amplasate în întregime la sol, fie după o direcție verticală, la separatoarele de translație

suspendate.

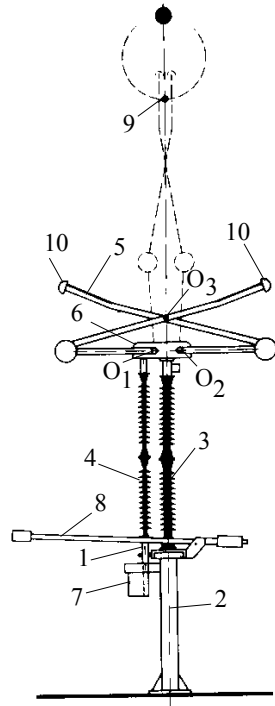
Construcția unui separator de translație cu mișcare orizontală, având tensiunea nominală de 400 kV, este reprezentată grafic în Fig.5.12. Un pol este constituit din izolatoarele suport 1, 2 având o poziție fixă, pe fiecare fiind amplasate bornele de racord 3, respectiv contactul fix 4. Contactul mobil 5 al separatorului este amplasat pe izolatorul suport 6, care, cu ajutorul unui sistem de acționare electrică, se poate deplasa pe o cale de rulare. Calea de curent este întregită prin barele articulate metalice 7, având articulațiile șuntate electric cu conexiuni flexibile.

Inelele conductoare 8, aflate la potențialul căii de curent, asigură o repartitie uniformă a potențialului în lungul izolatoarelor suport.

Separatoare de tip pantograf. Acest tip de separatoare sunt destinate instalațiilor exterioare de înaltă și foarte înaltă tensiune.

În Fig.5.13 este reprezentată construcția unui astfel de separator având tensiunea nominală de 245 kV. Construcția separatorului, dezvoltată pe verticală, cuprinde izolatorul suport 3, pe care se găsește amplasat sistemul de bare articulate 5, confecționate din dur-aluminiu.

La acționare, barele 5 se rotesc în sensuri contrare în articulațiile fixe O_1 , O_2 , astfel încât articulația O_3 execută o mișcare de translație pe verticală; elementele 10 ale contactului mobil, în poziția închis a separatorului, prind între ele contactul fix 9 care este suspendat de conductorul liniei electrice.

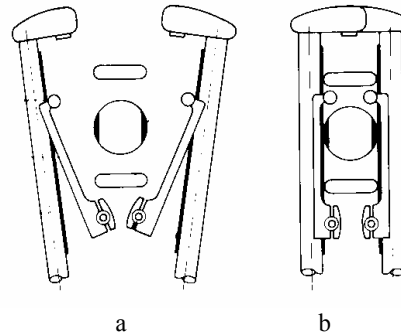
**Fig. 5.13***Separator tip pantograf*

anterioară închiderii contactelor, Fig. 5.14a, respectiv în poziția închis, Fig. 5.14b, a acestora.

Acționarea separatorului se face cu dispozitivul cu aer comprimat 7, de la care mișcarea este transmisă pantografului prin intermediul pârgheii 1, a izolatorului rotitor 4 și a mecanismului 6.

Separatorul este prevăzut cu cuțitul de legare la pământ 8, întreaga construcție fiind amplasată pe suportul metalic 2.

Pe lângă o estetică îmbunătățită a instalațiilor electroenergetice, utilizarea separatoarelor de tip pantograf prezintă mai multe avantaje precum: reducerea suprafeței ocupate cu 10...30% și a volumului fundațiilor cu circa 50%; revizie simplă a separatorului; siguranță totală împotriva autodeschiderii la scurtcircuit.

**Fig. 5.14***Sistemul de contacte al separatorului pantograf*

Piese 10 ale contactului mobil și contactul fix 9 sunt astfel dimensionate încât să permită realizarea unui contact ferm în orice condiții de exploatare.

În acest scop, la proiectarea separatorului se iau în calcul deviațiile posibile ale poziției contactului suspendat 9 datorită vântului, variațiilor de temperatură și ale depunerilor de chiciură.

În Fig. 5.14 este prezentată, în detaliu, construcția și poziția pieselor mobile de contact și a contactului fix ale separatorului în situația

5.3. Dispozitive pentru acționarea separatoarelor

În funcție de varianta constructivă și de tensiunea nominală, separatoarele pot fi acționate cu dispozitive manuale, pneumatice sau electrice (cu electromotor).

Dispozitivele manuale utilizate pentru acționarea separatoarelor de interior (simbolizate AMI) se construiesc în variantele cu manetă, cu roți dințate sau de tip prăjină electroizolantă; aceste dispozitive echipează separatoarele cu tensiuni nominale de maximum 35 kV.

Dispozitivele manuale pentru acționarea separatoarelor de exterior (simbolizate AME) se construiesc în variantele cu manetă, pentru separatoarele de 10-20 kV montate pe stâlpi de lemn sau de beton, respectiv cu pârghie, pentru separatoarele cu tensiuni nominale de 35...110 kV, precum și pentru acționarea cuțitelor de legare la pământ a separatoarelor de 220 kV. Toate aceste dispozitive reprezintă lanțuri cinematice de transmisie a energiei de la operator, la manivela separatorului.

În Fig.5.15a este reprezentat lanțul cinematic corespunzător unui dispozitiv AMI cu manetă; dispozitivul AMI cu roată dințată și șurub melc este dat în Fig.5.15b, iar construcția unei prăjini electroizolante este reprezentată grafic în Fig.5.15c.

Dispozitivele de acționare manuală sunt prevăzute cu mecanisme de blocare prin zăvorâre sau prin lacăt.

Dispozitivele de acționare pneumatică (simbolizare AP) servesc pentru acționarea separatoarelor atât de interior (cu tensiuni nominale de 3...35 kV) cât și de exterior, până la tensiunea nominală de 220 kV.

În Fig.5.16 este dată schema ne principiu privitoare la utilizarea unui dispozitiv de acționare pneumatică a separatoarelor funcționând cu aer comprimat la presiunea de 4,5 at. Dispozitivul este constituit din carcasa 1, în care se poate deplasa pistonul cu

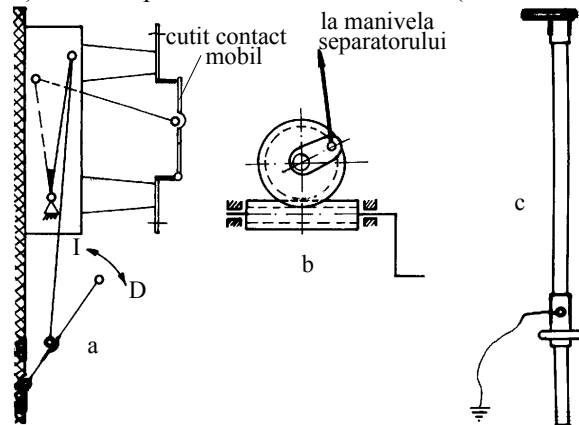


Fig.5.15

Dispozitive manuale de acționare a separatoarelor

dublu efect 8, mișcarea de translație a acestuia fiind transformată (prin intermediul unui mecanism cu camă) în mișcare de rotație în jurul axului O.

Comanda deplasării pistonului se obține cu ajutorul electrovalvei 6, având supapele 2, 5 acționate prin punerea sub tensiune a bobinelor electromagneților 3, respectiv 4; în acest fel, aerul comprimat din rezervorul 10 este admis pe una din fețele pistonului 8; schema din Fig.5.16 corespunde situației în care butonul de comandă a închiderii, BI, este acționat.

Blocarea separatorului se obține cu ajutorul electromagnetului de control 9, care are bobina alimentată prin contactul I numai când acționarea este permisă. În caz contrar, electromagnetul 9 blochează mecanic, în poziția deschis, electromagneții 3, 4; simultan, prin contactul normal deschis 7, comutat de asemenea de electromagnetul 9, se blochează orice comandă pe cale electrică a electromagneților 3, 4.

Dispozitivul de acționare cu servomotor electric (simbolizare ASE) echipează separatoarele cu tensiuni nominale de 35...400 kV, realizând acționarea lentă a acestora, într-un interval de timp de 4...5 s. Sunt construite dintr-un electromotor, un sistem de transmisie (roți cu curea, roți cu lanț, roți dințate și ax melcat) și un sistem de frânare, la care se adaugă blocuri de semnalizare, comandă electrică și protecție. Sunt prevăzute cu posibilitatea acționării manuale, în cazul lipsei tensiunii de comandă.

Pentru separatoarele de scurtcircuitare și pentru cele de punere la pământ a nului transformatoarelor, având tensiunea nominală de 110-220 kV, se utilizează pentru acționare acestora un dispozitiv cu motor electric și acumulare de energie în resort (simbolizare MRESc).

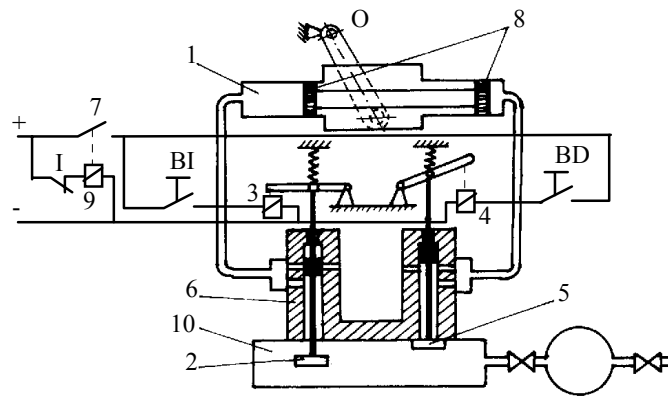


Fig.5.16

Schema de principiu a unui dispozitiv de acționare pneumatic

5.4. Separatoare de sarcină

Separatoarele de sarcină sunt echipamente de comutație având caracteristicile și parametrii separatoarelor normale, dar care, în plus față de acestea, sunt capabile să întrerupă curenți în regimuri normale de funcționare a instalațiilor. În acest scop separatoarele de sarcină sunt prevăzute cu dispozitive pentru stingerea arcului electric de deconectare și cu mecanisme de acționare care să permită deplasarea contactelor mobile cu viteze de valori mari, independente de operator.

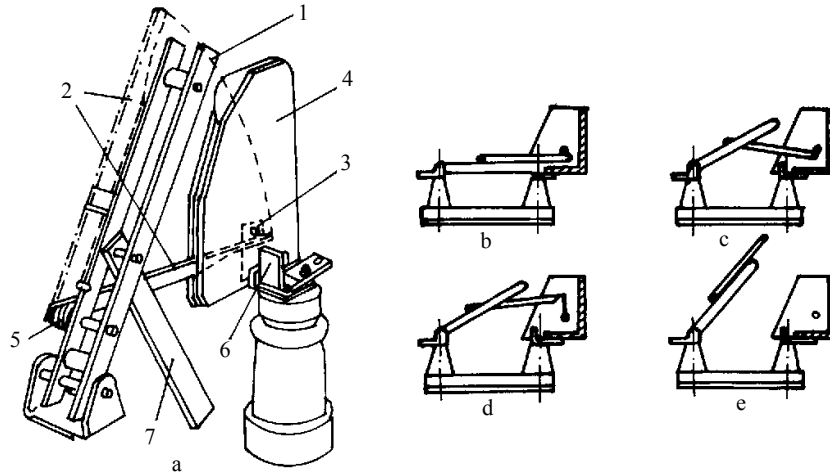
Utilizarea separatoarelor de sarcină este eficientă în următoarele cazuri:

- comutarea bateriilor de condensatoare având puteri de cel mult 1,2 MVA și tensiuni nominale de maximum 20 kV;
- înlocuirea întrerupătoarelor de putere în puncte ale rețelelor caracterizate prin puteri de scurtcircuit de valori mici (30 MVA), dar în care frecvența operațiilor de comutare este mare;
- echipament de comutație în rețelele buclate, cu rol de a închide sau deschide bucla la sarcina nominală de trecere;
- echipament de comutație pentru linii electrice aeriene sau în cablu, funcționând în gol.

În comparație cu întrerupătoarele de înaltă tensiune, separatoarele de sarcină au o construcție mult mai simplă și sunt mai ieftine. Înlocuirea întrerupătoarelor cu separatoare de sarcină în punctele instalațiilor de distribuție cu frecvență mare de comutare în regim normal de sarcină este eficientă din punct de vedere tehnico-economic, deoarece aceeași funcționalitate se obține cu investiții și cheltuieli de exploatare mai mici.

Datorită simplității constructive, capacitatea de deconectare a separatoarelor de sarcină este limitată la valori de ordinul 25...30 MVA, mai mici decât puterile de scurtcircuit care caracterizează rețelele de distribuție. Din aceste motive, protecția la scurtcircuit în astfel de instalații se obține cu ajutorul fie al întrerupătoarelor automate, fie, în cele mai multe cazuri, al siguranțelor fuzibile cu mare putere de rupere; acestea din urmă, la unele variante constructive, sunt amplasate pe același cadru cu separatorul de sarcină.

Separatoare de sarcină cu camere de stingere plate. În cazul multor variante constructive, separatorul de sarcină se obține dintr-un separator normal, căruia i se adaugă contacte de rupere prevăzute cu camere de stingere și un dispozitiv de acționare cu înmagazinare de energie în resorturi, care imprimă contactelor de rupere viteze de deschidere de 1...5 m/s.

**Fig.5.17**

Deconectarea unui separator de sarcină cu camere plate

În Fig.5.17 este prezentată operația de deconectare efectuată de un separator de sarcină având cameră de stingere plată, funcționând pe principiul autogenerării de gaze.

Corespunzător acestei variante constructive, contactului mobil 1 al unui separator normal, Fig.5.17a, i se adaugă un cuțit de rupere 2, cuplat mecanic cu 1 prin intermediul resortului 5; în poziția închis, cuțitul 2 și piesa fixă de contact 3, situată în interiorul camerei de stingere plate 4, stabilesc un contact de rupere, cuplat în paralel cu contactul de lucru, realizat în exteriorul camerei de stingere, între cuțitul mobil 1 și piesa fixă de contact 6. Cu 7 s-a notat biela izolantă care transmite mișcarea de la mecanismul de acționare la echipajul mobil al separatorului.

La deconectare, în timp de cuțitul 1 al contactului de lucru părăsește contactul fix 6, cuțitul de rupere 2 rămâne în contact, rulând sub piesa 3, până la desprindere; în acest moment, între cuțitul de rupere 2 și contactul fix 3 se amorsează arcul electric de deconectare, alungit rapid prin deplasarea contactului 2, sub acțiunea resortului 5. Pereții camerei de stingere, formând o fantă cu grosimea de circa 5 mm, se descompun în contact cu coloana arcului electric și eliberează o cantitate de gaze care duc la creșterea locală a presiunii și la răcirea arcului; suflajul exercitat, la care se adaugă forțele electrodinamice de contur, produc alungirea coloanei arcului și, în cele din urmă, stingerea acestuia.

Etapile funcționării la deconectare a separatorului de sarcină cu camere plate sunt date în Fig.5.17b...d.

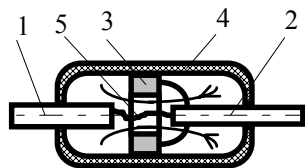


Fig.5.18

Principiul autocompresiei

Potrivit principiului prezentat, se construiesc separatoare de sarcină cu camere plate, destinate montării în instalații de interior, cu tensiuni nominale de 10 kV (curent nominal de 400, 630 A) și de 20 kV (curent nominal de 200 A). Constructiv acestea derivă din separatoarele normale de tip cuțit, respectiv rotativ.

Separatoare de sarcină cu hexafluorură de sulf. O cale pe care se dezvoltă în prezent tehnica separatoarelor de sarcină o constituie simplificarea construcției întrerupătoarelor de putere de înaltă tensiune, astfel încât să fie posibilă realizarea unui echipament mai simplu, mai fiabil și mai ieftin, care să satisfacă normele impuse separatoarelor de sarcină. În acest mod sunt realizate ca produse de serie și funcționează în instalații separatoare de sarcină acoperind o gamă foarte largă a tensiunilor nominale, de la medie până la foarte înaltă tensiune (765 kV). Hexafluorura de sulf, utilizată ca mediu electroizolant și de stingere în construcția întrerupătoarelor de putere, stă și la baza construcțiilor moderne de separatoare de sarcină.

Ținând seama de faptul că aceste echipamente sunt destinate de multe ori funcționării în structura celulelor blindate, construcția lor se caracterizează prin existența unei carcase etanșe, care conține toate componentele aferente și în care gazul SF_6 se găsește la presiuni variind între 0,15...0,5 MPa, în funcție de varianta constructivă.

Suflajul cu hexafluorură de sulf, sub acțiunea căruia are loc stingerea arcului electric de deconectare, se obține prin autocompresie, principiul utilizat fiind reprezentat schematic în Fig.5.18.

Contactele de comutație ale separatorului de sarcină, 1-fix și 2-mobil, se găsesc în incinta etanșă 4, conținând gazul SF_6 la presiunea de lucru. Solidar cu contactul mobil 2, pistonul 3 comprimă, la deconectare, hexafluorura de sulf. În acest mod, prin ajutorul central al pistonului 3 se exercită suflajul cu gaz, necesar stingerii arcului electric.

În Fig.5.19 este dată construcția unui separator de sarcină cu hexafluorură de sulf având tensiunea nominală de 110 kV; acesta este capabil să întrerupă curenți nominali de sarcină de până la 630 A ($\cos\varphi = 0,7$), curenți mici inductivi ($\cos\varphi = 0,1$) de 25 A și curenți capacitivi cu intensități de cel mult 100 A. Calea de curent a separatorului conține bornele de conexiuni 1, izolate de restul construcției prin izolatoarele de trecere 2, contactul fix 3 și contactul mobil tubular 5. Întreaga construcție este etanșată în carcasa metalică 8, presiunea de lucru a hexafluorurii de sulf fiind de 0,15 MPa. Solidare cu contactul mobil 5, pistonul 6 și tija electroizolantă 7 se deplasează simultan sub comanda mecanismului de acționare.

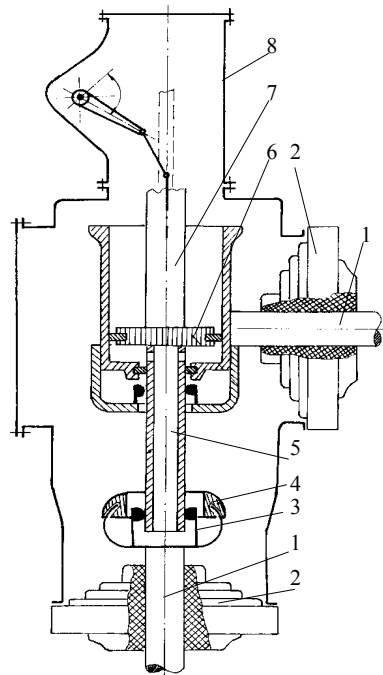


Fig.5.19
Separator de sarcină cu SF_6

La deconectare, datorită depresiunii create pe fața inferioară a pistonului 6, hexafluorura de sulf este absorbită prin contactul mobil tubular 5, dezvoltând suflajul necesar în zona de ardere a arcului electric. Coloana arcului este dirijată în interiorul tijei mobile 5, realizat din material rezistent la electroeroziune; în acest fel se separă pe contactul mobil zona de preluare a arcului electric în raport cu zona de lucru (contact închis), ultima localizată pe suprafața exterioară a tijei 5. Protecția la electroeroziune a contactului fix 3 se obține cu ajutorul armăturii inelare 4, realizată de asemenea din material dur, rezistent la acțiunea arcului electric.

Un exemplu de utilizare a separatoarelor de sarcină îl constituie celulele de distribuție tip SM6 de fabricație Merlin Gerin. Destinate instalațiilor interioare, acestea pot realiza diferite scheme de distribuție (Fig.5.20) în instalații de medie tensiune, corespunzător

gamei 12...24 kV.

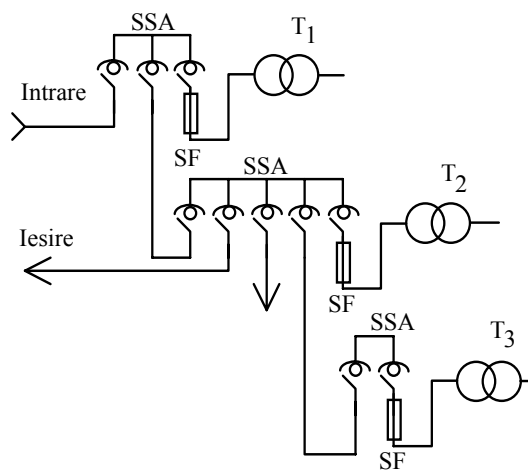


Fig.5.20
Instalație de distribuție cu separatoare de sarcină

Separatoarele de sarcină pot fi conectate singure sau asociate cu siguranțe fuzibile, pentru protecție la scurtcircuit.

În Fig.5.21 este prezentată construcția unei celule prefabricate cu cinci compartimente, care poate fi folosită în realizarea arhitecturii dorite pentru o instalație de distribuție. Separatorul de sarcină ocupă spațiul 1 al aparatajului și are construcția prezentată în Fig.5.22a.

Realizat ca aparat tripolar, separatorul de sarcină funcționează cu comutație în hexafluorură de sulf care umple, la presiunea relativă de 0,04 MPa, cuva 1, cu etanșare pe viață. Contactul mobil 2 (Fig.5.22b,c,d) poate ocupa una din următoarele poziții: închis, deschis, legat la pământ.

Acționarea se face de pe aparat sau prin telecomandă, cu mecanism de tip tumbler care acționează asupra axului 3, purtând contactele mobile.

5.5. Scurtcircuitoare

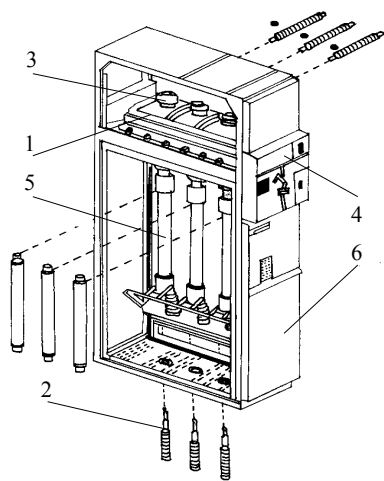


Fig.5.21

Celulă prefabricată: 1-aparataj; 2-racord; 3-bare; 4-mecanism de acționare; 5-siguranțe fuzibile; 6-carcasă.

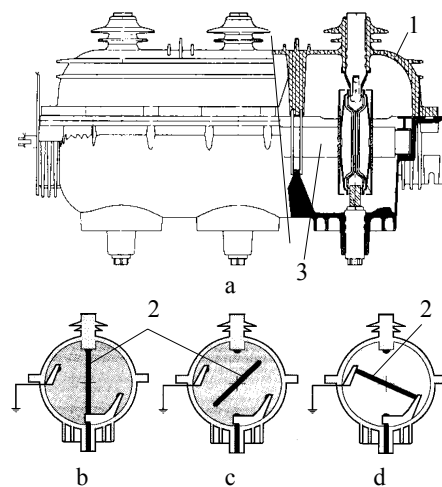


Fig.5.22

Separator de sarcină SM6 Merlin Gerin

Scurtcircuitoarele sunt echipamente de comutație utilizate în schemele de protecție la scurtcircuit a transformatoarelor de putere care nu sunt racordate la rețea prin intermediul întrerupătoarelor de putere.

Configurația unei astfel de instalații este reprezentată în Fig.5.23. Un scurtcircuit în transformatoarele T_1 , T_2 este sesizat de protecția prin relee a acestora, care comandă închiderea automată a scurtcircuitului SSC. Se realizează astfel un scurtcircuit voit (monofazat sau bifazat cu punere la pământ), caracterizat printr-un curent având intensitatea mai mare decât cea corespunzătoare defectului din transformator.

În aceste condiții, scurtcircuitul este sesizat de protecția prin relee a întrerupătorului I, care comandă executarea unui ciclu deschis-închis.

În acest mod, întrerupătorul I întrerupe defectul produs în rețea prin închiderea scurtcircuitului SSC, iar după o pauză de durată prestabilită t_p , repune automat instalația sub tensiune. Pe durata t_p , de asemenea în mod automat, se deschid separatorul de secționare S și scurtcircuitul SSC. Această succesiune de operații de comutație conduce în final la lichidarea defectului produs inițial în transformator, asigurându-se în același timp continuitatea în alimentarea cu energie a consumatorilor.

Deoarece în rețelele cu neutrul legat direct la pământ punerea monofazată la pământ constituie un defect, scurtcircuitoarele utilizate sunt monopolare.

În rețelele cu neutrul izolat se prevăd scurtcircuitoare bipolare.

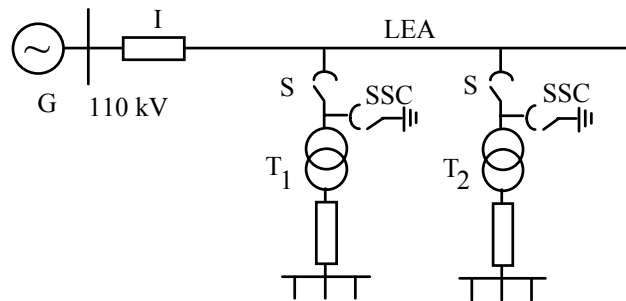


Fig.5.23

Utilizarea scurtcircuitoarelor

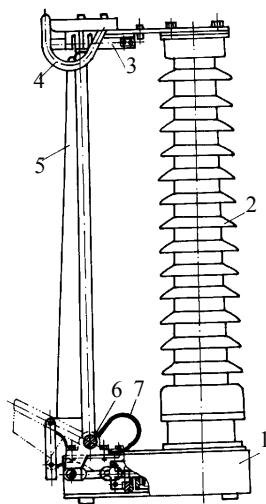


Fig.5.24

Scurtcircuit de înaltă tensiune

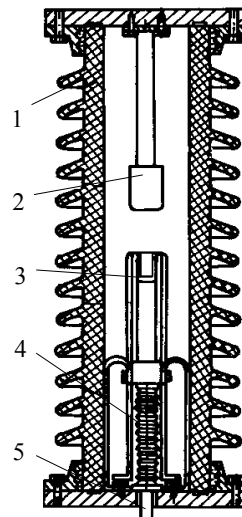


Fig.5.25

Scurtcircuit cu SF₆

În Fig.5.24 este prezentată construcția unui scurtcircuit cu contacte în aer, având tensiunea nominală de 110 kV. Un astfel de scurtcircuit este constituit din șasiul metalic 1, pe care este fixat izolatorul suport 2, susținând, pe flanșa superioară, contactul fix 3, prevăzut cu bornă de racord.

Pentru uniformizarea repartiției potențialului pe izolatorul suport, scurtcircuitul este prevăzut cu inelul metalic de ecranare 4.

Contactul mobil de tip cuțit, 5, este confecționat din oțel și se rotește, la acționare, în jurul axului fix 6. Calea de curent prin care se face punerea la pământ este întregită prin legătura flexibilă 7. Acționarea acestor scurtcircuitoare se face cu dispozitive cu resorturi, amplasate în interiorul șasiului 1.

Reducerea duratei de acționare a unui scurtcircuit este posibilă prin micșorarea distanței de izolație dintre contactele deschise, soluție care cere un mediu cu proprietăți electroizolante mai bune decât ale aerului.

Astfel de considerente au condus la construcția scurtcircuitoarelor funcționând în hexafluorură de sulf; o variantă constructivă de acest tip este dată în Fig.5.25.

Contactele scurtcircuitului, 2-fix și 3-mobil sunt amplasate în izolatorul etanș de porțelan 1, în care se găsește hexafluorură de sulf la presiune mai mare decât cea atmosferică. Acționarea contactului mobil se face prin

intermediul tijei 5, cuplată mecanic la lanțul cinematic de transmisie a mișcării de la mecanismul de acționare (nefigurat).

Etanșarea construcției, în condițiile asigurării mobilității contactului 3, se obține cu ajutorul burdufului din oțel 4.

Pentru tensiunea nominală de 110 kV, distanța dintre contactele deschise ale scurtcircuitorului este de 85...110 mm, timpul propriu realizat fiind de 4...5 ori mai mic decât în cazul scurtcircuitoarelor cu contacte în aer.

Construcția prezintă de asemenea avantajele funcționării protejate în raport cu acțiunea factorilor de mediu.

Capitolul 8

SIGURANȚE FUZIBILE

8.1. Generalități

Siguranțele fuzibile sunt echipamente electrice destinate protecției instalațiilor electrice împotriva scurtcircuitelor și a suprasarcinilor.

Siguranțele fuzibile, ținând seama de modul lor de funcționare, pot fi considerate și echipamente electrice de comutație.

Ele sunt caracterizate prin cea mai mică stabilitate termică din întregul circuit, iar protecția acestuia se realizează prin întreruperea lui, ca urmare a fuziunii unuia sau a mai multor elemente fuzibile, atunci când curentul care le parcurge are intensități ce depășesc o anumită valoare, pe o durată determinată.

Folosirea siguranțelor fuzibile moderne (cu efect de limitare) limitează valoarea curenților de scurtcircuit și permite folosirea unor echipamente electrice având o construcție mai simplă și mai ieftină, datorită limitării efectelor termice și electrodinamice ale curenților de scurtcircuit.

Siguranțele fuzibile permit instalarea unor cabluri și bare de secțiune mai redusă corespunzând curenților nominali din circuit, fără ca să fie nevoie să se utilizeze secțiuni mult mai mari pentru a se asigura stabilitatea termică în caz de scurtcircuit. Siguranțele fuzibile montate împreună cu separatoarele de sarcină înlocuiesc întrerupătoarele, în unele cazuri, fără ca acest lucru să influențeze negativ, din punct de vedere tehnic, funcționarea sistemului. În acest caz, separatoarele servesc la efectuarea manevrelor în regim normal de funcționare, iar siguranțele îndeplinesc rolul de întrerupător automat realizând protecția circuitului respectiv în caz de scurtcircuit.

Siguranțele fuzibile de înaltă tensiune (utilizate în instalații cu tensiuni nominale peste 1 kV) se pot utiliza pentru protecția:

- împotriva scurtcircuitelor, a transformatoarelor de puteri până la 1000-1600 kVA, la tensiuni până la 35 kV inclusiv;
- transformatoarelor de tensiune, în general, până la tensiuni de 35 kV inclusiv;
- împotriva scurtcircuitelor, a motoarelor de înaltă tensiune; comutarea curentă și protecția împotriva suprasarcinilor se realizează, în acest caz, cu ajutorul unor contactoare de înaltă tensiune;

- bateriilor de condensatoare împotriva scurtcircuitelor interne;
- circuitelor de alimentare cu tensiuni până la 35 kV inclusiv; siguranțele fuzibile se montează, în acest caz, la capătul amonte al circuitului, iar la capătul aval se montează un echipament de comutație și protecție corespunzător.

În cazul siguranțelor fuzibile de joasă tensiune, ele se montează:

- în instalații în care lipsesc întrerupătoarele automate sau în cele în care întrerupătoarele nu au puterea de rupere necesară deconectării curenților de scurtcircuit;

- pe plecărilor din tablourile de distribuție;

- după contoare, pe toate fazele inclusiv pe firul neutru în cazul consumatorilor nesimetrice;

- pe conductoarele fazelor la schimbarea secțiunii acestora.

Principalele părți constructive ale unei siguranțe fuzibile sunt:

- soclul, care reprezintă parte fixă a siguranței și care conține bornele de conexiuni și toate elementele necesare izolării;

- elementul înlocuitor, care înglobează elementul fuzibil și poate fi înlocuit după funcționarea siguranței și înainte ca aceasta să fie repusă în funcțiune;

- elementul fuzibil, constituit din una sau mai multe benzi calibrate, având rolul de a se topi la funcționarea siguranței.

8.2. Funcționarea siguranțelor fuzibile

Funcționarea în regim nominal a unei siguranțe fuzibile este caracterizată prin curentul nominal de intensitate I_n , sub acțiunea căruia nu trebuie să se producă încălziri ale bornelor soclului peste limite admisibile, precizate de norme.

Un regim critic de funcționare pentru o siguranță fuzibilă se stabilește atunci când aceasta este parcursă de curentul minim de fuziune, având intensitatea $I_{f \min}$, sub acțiunea căruia elementul fuzibil se topește într-un interval de timp având teoretic valori infinite.

Pentru efectuarea încercărilor siguranțelor fuzibile, normele definesc curentul convențional de nefuziune, de intensitate I_{nf} , ca fiind valoarea efectivă a intensității curentului care poate fi suportat de elementul fuzibil un anumit timp (1...4 h) fără a se topi și curentul convențional de fuziune, de intensitate I_f , ca fiind valoarea efectivă specificată a intensității curentului care provoacă întreruperea circuitului de către elementul fuzibil înainte de expirarea unui anumit timp. Spre exemplu, pentru siguranțele fuzibile de joasă tensiune cu mare putere de rupere, $I_{nf}=(1,2...1,5)I_n$, $I_f=(1,6...2,1)I_n$.

Între intensitățile curenților definiți există relațiile:

$$I_n < I_{f \min} < I_{nf} < I_f. \quad (8.1)$$

Se consideră o siguranță fuzibilă parcursă, în regim normal de funcționare, Fig.8.1, de un curent de sarcină având intensitatea $I_s < I_{f \min}$, care determină încălzirea elementului fuzibil la temperatura de regim permanent, θ_p . În momentul t_0 în circuit se stabilește un supracurent de intensitate $I_{sc} > I_{f \min}$, sub acțiunea căruia temperatura elementului fuzibil crește după o anumită lege, în momentul t_1 atingându-se temperatura θ_f de topire (fuziune) a acestuia, care rămâne constantă pe durata $(t_2 - t_1)$ a topirii.

În continuare, temperatura stării lichide crește până la atingerea temperaturii θ_v , corespunzătoare vaporizării, care începe în momentul t_3 ; în acest moment conducția electrică se întrerupe și intensitatea curentului se anulează.

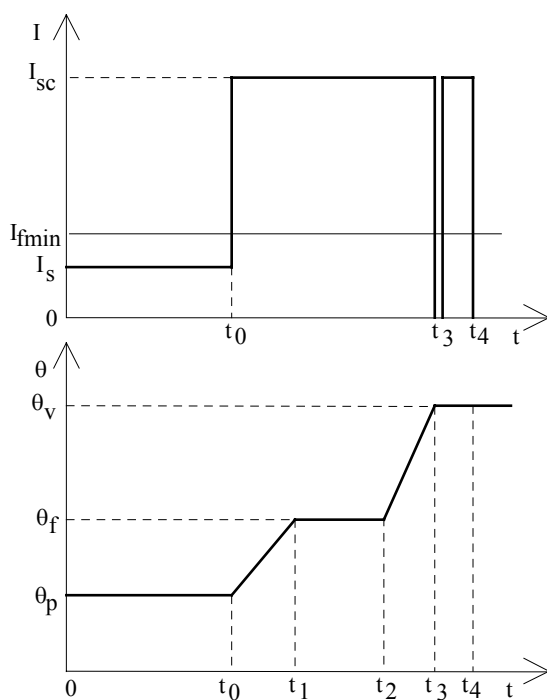


Fig.8.1

Evoluția temperaturii firului fuzibil la apariția unui supracurent

Supratensiunile de comutație care apar în momentul t_3 produc străpungerea mediului din interiorul siguranței și amorsarea unui arc electric a cărui durată de ardere, $t_4 - t_3$, depinde de tipul dispozitivului de stingere cu care este prevăzută siguranța fuzibilă. Odată cu stingerea arcului electric, se obține și întreruperea definitivă supracurentului de intensitate I_{sc} .

Funcționarea unei siguranțe fuzibile comportă deci, următoarele etape convenționale: încălzirea până la temperatura de topire a elementului fuzibil; topirea și evaporarea fuzibilului;

străpungerea mediului siguranței și amorsarea arcului electric de deconectare; stingerea arcului electric și întreruperea circuitului.

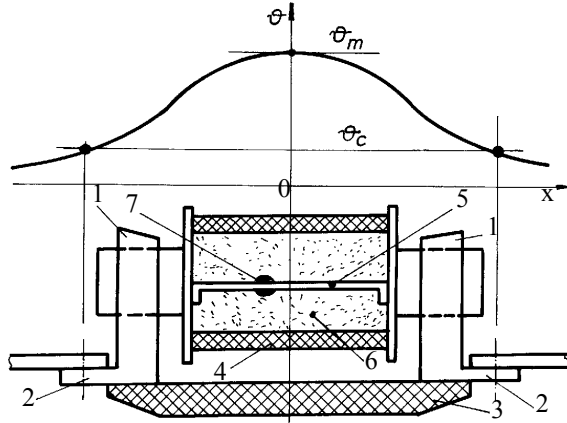


Fig.8.2

Distribuția supratemperaturii în regim permanent

perforațiilor se transmite porțiunilor învecinate, încât distribuția supratemperaturii de regim permanent are alura din Fig.8.2.

Topirea la suprasarcină a elementului fuzibil are loc fie în punctul de supratemperatură maximă, ϑ_m , fie în locul unde este amplasată cantitatea de material eutectic 2, în ipoteza că la suprasarcină siguranța fuzibilă funcționează pe baza efectului metalurgic. Efectul metalurgic constă în dizolvarea unui metal cu temperatură de topire mai ridicată (Ag-963°C, Cu-1083°C) într-un aliaj eutectic plumb-staniu cu temperatura de topire mai coborâtă (aproximativ 250°C).

Considerând momentul t_0 , Fig.8.1, drept moment inițial al încălzirii sub acțiunea curentului de suprasarcină, supratemperatura $\vartheta(t)$ a punctului în care se produce topirea elementului fuzibil se poate scrie sub forma:

$$\vartheta(t) = \frac{R_a I_{sc}^2}{\alpha_t S} \left(1 - e^{-\frac{t-t_0}{T}} \right) + \frac{R_a I_s^2}{\alpha_t S} e^{-\frac{t-t_0}{T}}. \quad (8.2)$$

Impunând condiția, Fig.8.1:

$$\vartheta(t_1) = \vartheta_f = \theta_f - \theta_a = \frac{R_a I_{f \min}^2}{\alpha_t S}, \quad (8.3)$$

din relația (8.2) se poate determina durata de topire a elementului fuzibil, $t_f = t_1 - t_0$, pentru care rezultă expresia:

Funcționarea la suprasarcină. Sub acțiunea curenților de suprasarcină, caracterizați în mod obișnuit prin intensități de valori $I_{sc} = (1,05 \dots 6) I_n$, elementul fuzibil 5 al siguranței fuzibile, Fig.8.2, se încălzește într-un timp relativ lung.

Deși benzile fuzibile sunt perforate, constituind astfel o cale de curent neomegenă, datorită duratelor mari de încălzire, căldura degajată în zona

$$t_f = T \ln \frac{\left(\frac{I_{sc}}{I_{f \min}}\right)^2 - \left(\frac{I_s}{I_{f \min}}\right)^2}{\left(\frac{I_{sc}}{I_{f \min}}\right)^2 - 1}. \quad (8.4)$$

În relațiile (8.2), (8.3), (8.4) notațiile au următoarele semnificații: R_a -rezistența elementului fuzibil la temperatura θ_a a mediului ambiant, α_t -transmisivitatea termică globală a elementului fuzibil, S -suprafața de cedare a căldurii corespunzătoare elementului fuzibil, T -constanta de timp termică, θ_f -temperatura de topire a fuzibilului, I_{sc} , I_s , $I_{f \min}$ -intensitățile curenților de suprasarcină, de sarcină, respectiv minim de topire.

Ținând seama de duratele proceselor specifice funcționării unei siguranțe fuzibile, ilustrate în Fig.8.1, se poate considera că expresia (8.4) aproximează caracteristica timp-curent pentru o siguranță fuzibilă, cu o eroare cu atât mai mică cu cât durata t_f este mai mare decât intervalul de timp t_4 - t_1 . Aceasta se întâmplă pentru valori mici ale curentului de suprasarcină.

Utilizând notațiile:

$$\eta_f = \frac{I_s}{I_{f \min}}, \quad I_* = \frac{I_{sc}}{I_{f \min}}, \quad (8.5)$$

relația (8.4) devine:

$$t_f = T \ln \frac{I_*^2 - \eta_f^2}{I_*^2 - 1}, \quad (8.6)$$

unde η_f reprezintă încărcarea inițială, iar I_* -intensitatea curentului de suprasarcină exprimată în unități relative.

Analizând relația (8.6) se constată analogia existentă între caracteristicile termice ale instalațiilor și caracteristicile de protecție la suprasarcină ale siguranțelor fuzibile. Acest fapt facilitează corelarea caracteristicilor în vederea obținerii unei protecții corespunzătoare la suprasarcină a instalațiilor.

Funcționarea la scurtcircuit. Datorită faptului că pe durata scurtă a unui proces de scurtcircuit cantitățile mari de căldură produse prin conversie electrotermică nu se transmit zonelor învecinate decât cu totul parțial, topirea se inițializează în porțiunile cu cea mai redusă stabilitate termică, localizate constructiv prin perforarea benzilor elementului fuzibil. În zonele perforate suprafața transversală a benzii are valori mult mai mici, încât aceste porțiuni

ating primele temperatura de topire. Procesul de întrerupere a unui curent de scurtcircuit decurge conform Fig.8.1, și poate fi analizat etapă cu etapă.

Pe intervalul de timp (t_0, t_1) , de valoare mică (1...5 ms), în care are loc încălzirea fuzibilului până la temperatura de topire θ_f , se poate considera procesul de încălzire ca fiind adiabatic. Ecuația generală a bilanțului termic se reduce la forma:

$$Pdt = mcd\theta, \quad (8.7)$$

și ținând seama că:

$$P = j_k^2 \rho V, \quad \frac{d\theta}{dt} = \frac{d\theta}{dt}, \quad (8.8)$$

relația (8.7) se poate scrie:

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{j_k^2 \rho V}{c\gamma V} = \frac{j_k^2 \rho}{c_1}, \quad (8.9)$$

unde s-a notat: j_k -densitatea curentului de scurtcircuit, $\rho = \rho_0(1 - \alpha_R \theta)$ -rezistivitatea materialului firului fuzibil, α_R -coeficientul de temperatură al rezistivității, ρ_0 -rezistivitatea materialului la zero °C, γ -densitatea materialului fuzibilului, $c_1 = c\gamma$ -căldura specifică volumică raportată la unitatea de masă, variabilă cu temperatura.

Din relația (8.9), în ipoteza $\theta_p = 0$, se obține:

$$\int_{t_0}^{t_1} j_k^2 dt = \frac{c_1}{\rho_0} \int_0^{\theta_f} \frac{d\theta}{1 - \alpha_R \theta} = \frac{c_1}{\rho_0 \alpha_R} \ln(1 + \alpha_R \theta_f) = K_1. \quad (8.10)$$

Se observă că primul termen al relației (8.10) reprezintă integrala în timp a pătratului densității de curent, numită integrala Joule, iar termenul al doilea notat cu K_1 , reprezintă o constantă de material, egală cu constanta lui Meyer.

În intervalul de timp (t_1, t_2) materialul firului fuzibil se topește în întregime, iar temperatura se păstrează constantă la valoarea θ_f . În acest interval există atât metal solid, cât și lichid, care ocupa ipotetic forma geometrică a elementului în stare solidă. Ecuația de bilanț are forma:

$$\int_{t_1}^{t_2} j_k^2 \rho_m V dt = \lambda V, \quad (8.11)$$

sau:

$$\int_{t_1}^{t_2} j_k^2 dt = \frac{\lambda}{\rho_m} = K_2, \quad (8.12)$$

unde s-a notat: λ -căldura latentă volumică de topire, ρ_m -rezistivitatea medie a metalului fuzibilului, în stare lichidă și solidă, K_2 -constantă de material.

În intervalul de timp (t_2 , t_3) metalul lichid se încălzește de la temperatura θ_f la temperatura θ_v când se ajunge la temperatura de vaporizare, după care ar urma formarea arcului electric. Ecuația de bilanț, se scrie similar cu relația (8.10) sub forma:

$$\int_{t_2}^{t_3} j_k^2 dt = \frac{c_2}{\rho_2 \beta_R} \ln(1 + \beta_R (\theta_v - \theta_f)) = K_3, \quad (8.13)$$

unde: c_2 -căldura specifică volumică în stare lichidă, ρ_2 -rezistivitatea metalului fuzibilului în stare lichidă, β_R -coeficientul de temperatură al rezistivității metalului în stare lichidă, K_3 -constantă de material.

Se constată că pe intervalul de timp (t_0 , t_3), integrala Joule se poate scrie sub forma:

$$\int_{t_0}^{t_3} j_k^2 dt = K_1 + K_2 + K_3 = K. \quad (8.14)$$

În Tab.8.1 sunt date valorile integralelor Joule, după Rüdenberg, pentru argint și cupru. Potrivit datelor din acest tabel rezultă că elementele fuzibile din argint sunt mai rapide decât cele realizate din cupru.

Tab.8.1 Valori ale integralei Joule

Constanta, [A^2s/m^4]	Argint	Cupru
K_1	$5,91 \cdot 10^{16}$	$8,63 \cdot 10^{16}$
K_2	$1,02 \cdot 10^{16}$	$1,33 \cdot 10^{16}$
K_3	$1,07 \cdot 10^{16}$	$1,76 \cdot 10^{16}$
$K=K_1+K_2+K_3$	$8,00 \cdot 10^{16}$	$11,72 \cdot 10^{16}$

Ținând seama că în realitate, arcul electric în interiorul siguranței fuzibile se formează mai devreme decât în momentul t_3 și anume între picăturile de metal lichid, în intervalul (t_1, t_2) , la efectuarea calculelor practice se poate considera $K \cong K_1 + K_2$. Explicația apariției în acest interval a arcului electric este dată de faptul că în stare lichidă fuzibilul nu își mai poate conserva forma geometrică

Intervalul de timp scurs între momentul apariției curentului de scurtcircuit și momentul apariției arcului electric se numește durata de prearc, t_{pa} . Această durată se poate determina, în ipoteza că densitatea curentului de scurtcircuit este constantă, cu relația:

$$t_{pa} = \frac{K_1 + K_2}{j_k^2}. \quad (8.15)$$

Relația (8.15) este valabilă în circuitele de c.c. neinductive, când curentul poate fi considerat constant. În cazul circuitelor de c.c. inductive sau a circuitelor de c.a., se dau în literatura de specialitate relații de calcul pentru timpul de prearc și pentru curentul limitat tăiat.

8.3. Parametrii și caracteristicile siguranțelor fuzibile

Principalii parametri electrici și caracteristici specifice siguranțelor fuzibile, pe baza cărora se face și alegerea acestora, sunt prezentați în continuare.

Curentul nominal al fuzibilului - se alege cea mai mică valoare standardizată, astfel încât fuzibilul să suporte: un timp nelimitat curentul nominal al circuitului, un timp limitat curentul de suprasarcină al circuitului, șocurile de curent de foarte scurtă durată care apar în regim normal de funcționare și să asigure selectivitatea. Șocuri de curent de scurtă durată apar la punerea sub tensiune a transformatoarelor de putere, a motoarelor și a bateriilor de condensatoare. Pentru transformatoarele tipizate cu puteri nominale până la 1000 kVA, curenții nominali ai fuzibilelor pe partea de înaltă tensiune sunt dați în Tab.8.2.

În cazul motoarelor electrice, valoarea maximă a curentului de pornire depinde de tipul motorului și al dispozitivului de pornire al acestuia. Pe durata pornirii, până la atingerea turației de regim, valoarea curentului de pornire scade. Se poate adopta în calcul o valoare constantă a curentului de pornire, egală cu 90% din valoarea sa maximă. În timpul pornirii motoarelor, siguranțele nu trebuie să se topească, lucru care se poate verifica cu ajutorul caracteristicii timp-curent.

Tab.8.2 Curenții nominali ai fuzibilelor

Puterea nominală a transformatorului, [kVA]	Curentul nominal al fuzibilului, [A]				
	6 kV	10 kV	15 kV	20 kV	35 kV
25	10	6,3	6,3	6,3	6,3
40	10	6,3	6,3	6,3	6,3
63	16	10	10	6,3	6,3
100	25	16	16	10	6,3
160	40	25	16	16	10
250	63	31,5	25	25	16
400	80	40	40	31,5	25
630	100	63	63	40	31,5
1000	150	80	80	63	40

În cazul bateriilor de condensatoare, curentul nominal al fuzibilelor este ales în funcție de curentul nominal al bateriei ce se va mări de 1,5-2 ori.

Curentul nominal al soclului siguranței - se alege egal sau mai mare decât curentul nominal al fuzibilului.

Capacitatea de rupere - se alege astfel încât valoarea efectivă a curentului de rupere simetric nominal al siguranței să fie mai mare sau cel puțin egală cu valoarea efectivă inițială a componentei periodice a curentului de scurtcircuit din instalație. În cazul curentului continuu se ia în considerare valoarea stabilizată a curentului de scurtcircuit.

Tab.8.3 Valori ale supratensiunilor la funcționarea siguranțelor

Tensiunea nominală a siguranței fuzibile, [kV]	Valoarea maximă a supratensiunii de funcționare, [kV]
3,6	12
7,2	23
12	38
17,5	55
24	75
42	130
72,5	226

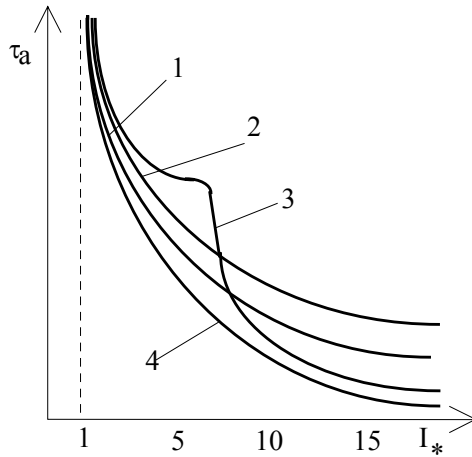


Fig.8.3

Caracteristici de protecție timp-curent

La întreruperea curenților de scurtcircuit se produc supratensiuni la bornele siguranțelor, supratensiuni care nu trebuie să pună în pericol izolația rețelei. Valorile maxime ale supratensiunilor recomandate de CEI pentru siguranțele limitatoare de curent de înaltă tensiune sunt prezentate în Tab.8.3.

Caracteristica timp-curent - reprezintă durata de funcționare a siguranței pentru diverse valori efective inițiale ale componentei periodice a curentului de scurtcircuit, Fig.8.3.

Prin durată de funcționare (de întrerupere a circuitului) se înțelege,

în acest caz, suma duratelor de prearc, respectiv de arc ($\tau_a = t_4 - t_0$), Fig.8.1.

Ținând seama de cele descrise în §8.2, durata de întrerupere a circuitului τ_a , în condiții specificate, este o funcție de valorile relative ale supracurentului care produce funcționarea unei siguranțe fuzibile. Caracteristicile de protecție timp-curent $\tau_a(I)$ sunt nereglabile și de mai multe tipuri, în funcție de varianta constructivă a elementului fuzibil.

Astfel, curba 1, Fig.8.3, reprezintă o caracteristică timp-curent proprie unei siguranțe rapide, având elementul fuzibil confecționat dintr-un singur metal și folosită pentru protecția instalațiilor unde nu apar curenți de suprasarcină (instalații de iluminat).

În cazul instalațiilor în care este posibilă apariția unor curenți de suprasarcină de intensități și durate variabile, sunt utilizate siguranțe fuzibile cu caracteristici inerte, curba 2. Curba 3 reprezintă o caracteristică timp-curent inert-rapidă (mixtă), proprie siguranțelor fuzibile utilizate pentru protecția instalațiilor în care curenții de suprasarcină au durate mari (pornirea motoarelor asincrone de puteri mari) și care necesită întreruperi rapide la scurtcircuit.

Pentru protecția instalațiilor care conțin elemente cu capacitate termică redusă (instalații de redresare, invertoare etc.) sunt utilizate siguranțe fuzibile cu caracteristici ultra-rapide, curba 4.

Curentul limitat tăiat - caracteristic pentru funcționarea la scurtcircuit a siguranțelor fuzibile cu efect de limitare este procesul de limitare a curentului de scurtcircuit ca durată și ca amplitudine.

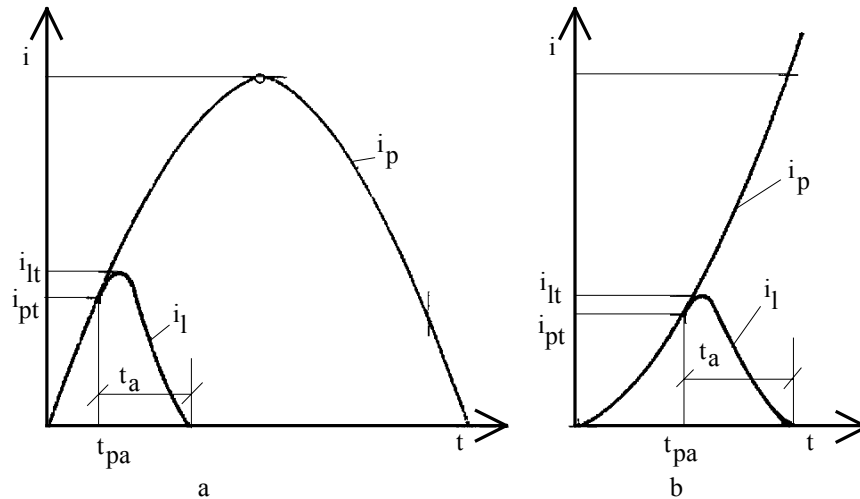


Fig.8.4
Curentul limitat tăiat

Procesul de limitare al curentului de scurtcircuit este redat în Fig.8.4a,b, pentru curentul simetric de scurtcircuit, respectiv cel asimetric, unde s-au notat: i_p -curentul prezumat, definit ca acel curent care ar trece prin circuit dacă siguranța fuzibilă ar fi înlocuită cu un conductor de impedanță nulă, 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 funcționare a siguranței fuzibile.

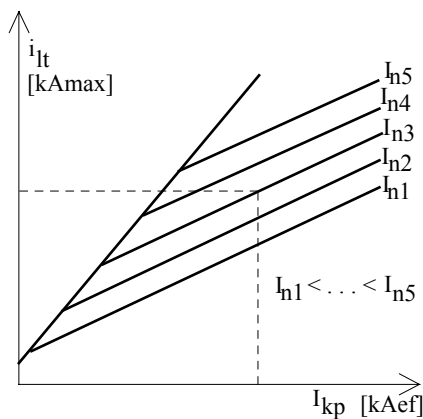


Fig.8.5
Caracteristica amplitudinii curentului tăiat

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.8.5, prin care se

stabilește dependența, în condiții determinate de funcționare, între valoarea efectivă a intensității i_{lt} a curentului limitat tăiat și valoarea efectivă, I_{kp} , a intensității curentului prezumat.

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.

8.4. Variante constructive de siguranțe fuzibile

8.4.1. Siguranțe fuzibile de joasă tensiune

Siguranțele fuzibile de joasă tensiune sunt realizate într-o mare varietate de tipuri constructive, din care se desprind trei categorii principale și anume:

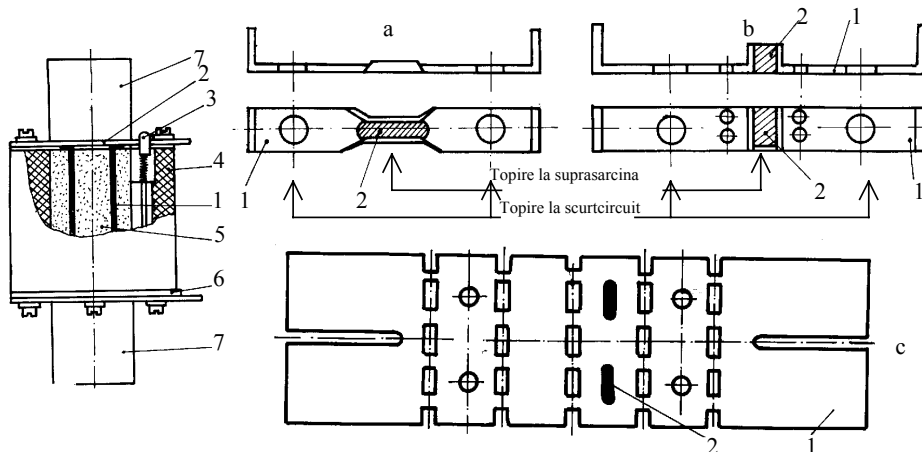
- siguranțe fuzibile cu mare putere de rupere, folosite în instalații industriale pentru curenți nominali de 100...1000 A și capacități de rupere nominale de zeci de kiloamperi;

- siguranțe fuzibile cu filet, folosite în instalații industriale și casnice, având intensitatea curentului nominal de 15...100 A și capacități 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 și prin capacități de rupere la scurtcircuit de până la 2 kA.

Utilizate în scopuri industriale, siguranțele fuzibile cu mare putere de rupere (tip MPR) cunosc o arie întinsă de răspândire.

Elementul înlocuitor al unei siguranțe tip MPR, Fig.8.6, conține elementele fuzibile 1, amplasate în interiorul anvelopei de porțelan 4, umplută cu material granulos (nisip de cuarț) 5. Anvelopa de porțelan este etanșată cu ajutorul garniturilor de azbest 6 și al capacelor metalice 2. Pentru montarea în soclu, elementul înlocuitor este prevăzut cu contactele de tip cuțit 7, executate din cupru argintat. Funcționarea siguranței este semnalizată prin percutorul 3.

**Fig.8.6**

*Elementul înlocuitor al
unei siguranțe tip MPR*

Fig.8.7

*Elemente fuzibile ale unui unei siguranțe
fuzibile tip MPR*

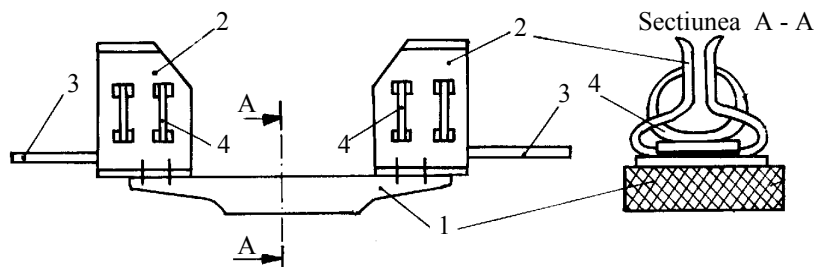
Elementele fuzibile 1 ale siguranței de tip MPR se realizează din bandă de cupru sau argint, cu lățimi de 4...10 mm și grosimi de 0,1...0,5 mm, un element înlocuitor conținând 1...6 benzi conectate în paralel.

Funcționarea la suprasarcină are loc pe baza efectului metalurgic, produs ca urmare a fixării, de obicei în zona centrală a benzii 1, Fig.8.7, a unei mici cantități de material ușor fuzibil, 2 (62% Sn, 38% Pb). La încălzirea benzii, materialul ușor fuzibil ia temperatura acesteia, până la atingerea temperaturii sale de topire. În continuare are loc o reacție de dizolvare a benzii în materialul topit, până la inițierea arcului electric de deconectare. Sub acțiunea curenților de suprasarcină, siguranțele fuzibile de tip MPR nu funcționează cu efect de limitare.

La scurtcircuit, efectul de limitare se obține prin topirea benzilor în zonele perforate, unde suprafața secțiunii transversale ajunge la 12...25% din suprafața maximă.

Socul unei siguranțe fuzibile de tip MPR, Fig.8.8, este alcătuit din suportul electroizolant ceramic 1, pe care se găsesc contactele elastice 2, prevăzute cu bornele de conexiuni 3. Forța de apăsare în contact este asigurată de resorturile 4.

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

**Fig.8.8**

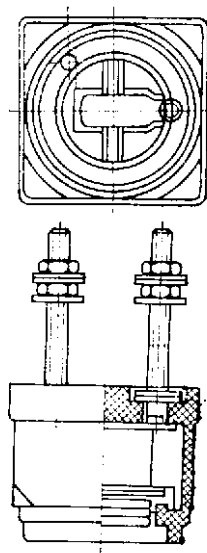
Soclu unei siguranțe fuzibile tip MPR

Siguranțele de tip LF se pot monta pe plăci metalice sau electroizolante, bare sau profiluri, conexiunile electrice efectuându-se prin partea din față a soclului. Bornele de legătură pot fi protejate cu capac electroizolant, existând însă și socluri neprotejate (simbolizate LFi). În Fig.8.9a este reprezentat un soclu pentru siguranțe LF, iar în Fig.8.9b un soclu pentru siguranțe LFi.

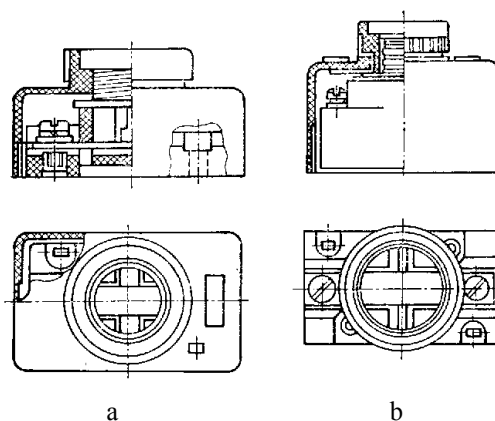
Siguranțele fuzibile de tip LS se montează numai pe panouri electroizolante (marmură, azbociment) deoarece piesele de fixare mecanică pe panou servesc în același timp și ca borne pentru conexiuni electrice, Fig.8.10.

Se observă pe picioarele soclului două piulițe, una servind pentru fixarea soclului pe panou, cealaltă, împreună cu două șaibe, servind pentru realizarea conexiunii cu conductorul de legătură.

Socurile siguranțelor fuzibile cu filet tip LF, LFi, LS sunt prevăzute cu același tip de capac filetat, Fig.8.11, necesare fixării elementului înlocuitor. Pentru instalațiile supuse la vibrații aceste capace se execută cu

**Fig.8.10**

Soclu siguranță LS



a

b

Fig.8.9

Socluri de siguranțe fuzibile cu filet

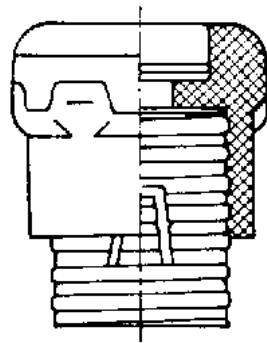


Fig.8.11
Capac filetat

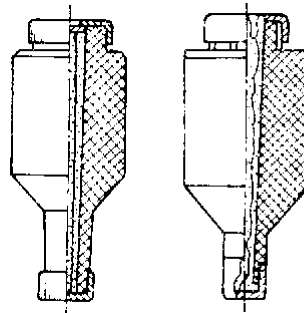


Fig.8.12
*Patroane fuzibile pentru
siguranțe LF, LFi, LS*

partea filetată striată pentru a împiedica deșurubarea.

Elementele înlocuitoare (patroanele fuzibile), Fig.8.12, sunt identice pentru diversele tipuri de socluri, dar diferă în funcție de valorile intensității curentului nominal.

8.4.2. Siguranțe fuzibile de înaltă tensiune

Siguranțele fuzibile de înaltă tensiune sunt destinate protecției instalațiilor electrice cu tensiuni nominale mai mari de 1 kV, împotriva efectelor termice ale supracurenților. Când aceste siguranțe sunt limitatoare de curent, se obține și protecția împotriva efectelor electrodinamice ale curenților de scurtcircuit.

După modul în care are loc stingerea arcului electric de deconectare, siguranțele fuzibile de înaltă tensiune se pot grupa astfel: siguranțe cu autosuflaj de gaze, cu material de umplutură și cu alungirea mecanică a arcului electric.

Siguranțele cu autosuflaj de gaze au elementul fuzibil introdus într-un tub căptușit cu material gazogen (fibră, acid boric presat,

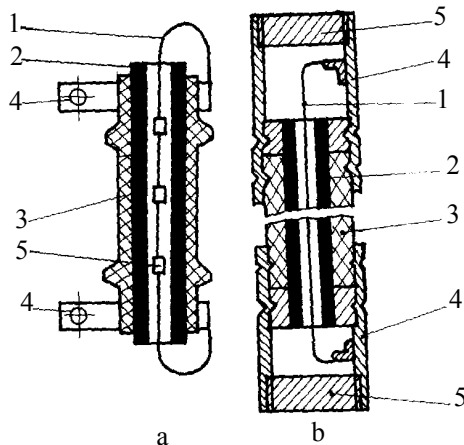


Fig.8.13
*Siguranțe fuzibile de înaltă tensiune cu
autosuflaj de gaze*

rășini, tetraclorură de carbon, stiplex etc.) care sub acțiunea arcului electric de deconectare eliberează o cantitate însemnată de gaze, dirijate într-un suflaj longitudinal asupra arcului, procedeu prin care se obține stingerea acestuia.

În Fig.8.13 sunt date două variante constructive pentru elementele de înlocuire ale acestui tip de siguranță. Elementul fuzibil 1 funcționează în interiorul tubului gazogen 2, protejat la exterior de anvelopa de porțelan 3. Contactele 4 ale elementului de înlocuire se fixează în soclul siguranței. Varianta din Fig.8.13a, de tip deschis, funcționează cu efect de limitare a curenților de scurtcircuit, inițierea topirii fuzibilului producându-se în cilindrii din material ceramic 5, amplasați din loc în loc pe acesta.

Gazele produse în urma funcționării sunt fie expulzate în exterior, Fig.8.13a, fie reținute sub capacele frontale, Fig.8.13b. În cel de al doilea caz, gazele sub presiune, adunate în spațiile tampon de sub capacele elementului înlocuitor, intervin cu un suflaj eficient tocmai în intervalele de timp care conțin momentele anulării intensității curentului prin arc, facilitându-se astfel stingerea acestuia.

La siguranțele cu autosuflaj este limitată secțiunea firului fuzibil la valori relativ mici deoarece pe măsură ce crește secțiunea, crește și cantitatea de vapori metalici din zona de ardere a arcului și deci se înrăutățește stingerea arcului. De asemenea, se menționează ca un dezavantaj al siguranțelor de acest tip faptul că proprietățile gazogeneratoare, izolante și mecanice ale tuburilor scad după un anumit număr de funcționări.

Din punct de vedere constructiv și funcțional, siguranțele fuzibile cu material de umplutură destinate instalațiilor de înaltă tensiune, se aseamănă cu cele de joasă tensiune.

Materialul de umplutură (talc, nisip de cuarț, cretă, marmură măcinată) are proprietăți deionizante asupra coloanei arcului electric de deconectare. Materialul de umplutură unanim acceptat de fabricanții de siguranțe este nisipul de cuarț. Marmura măcinată dezvoltă prin descompunere o mare cantitate de gaze, care pune în pericol integritatea elementului înlocuitor, în timp ce talcul sau creta, prin tasare, micșorează raza de pătrundere a vaporilor metalici, proveniți din vaporizarea fuzibilului.

Siguranțele de acest tip, Fig.8.14, 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 materialul de umplutură 5. Firele fuzibile pot fi spiralate uniform pe un suport 4, Fig.8.14a,b, sau pot fi realizate sub formă de spirală fără miez, Fig.8.14c, în funcție de valoarea curentului nominal. 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

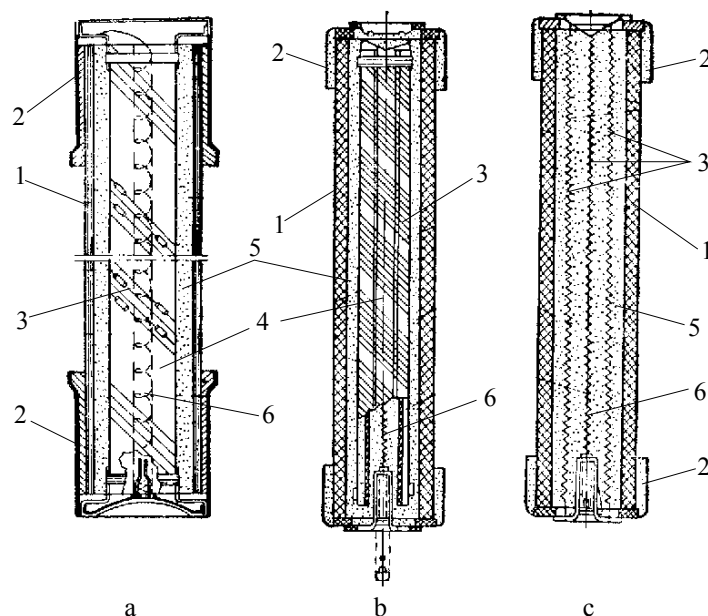


Fig.8.14

Siguranțe fuzibile cu material de umplutură

fuzibilului este cu atât mai rapidă cu cât acesta are o secțiune mai mică se utilizează pentru curenți nominali mari, mai multe fire fuzibile în paralel.

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

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

Siguranțele fuzibile cu alungire mecanică a arcului electric sunt prevăzute cu dispozitive care asigură deplasarea unuia dintre electrozi în sensul alungirii arcului electric de deconectare. Elementul fuzibil al acestor siguranțe este de lungime mică, stingerea arcului electric obținându-se la prima trecere prin zero a intensității curentului. Datorită alungirii progresive a coloanei arcului electric, funcționarea acestor siguranțe nu este însoțită de supratensiuni cu valori mari.

În Fig.8.15a este reprezentat elementul înlocuitor al unei siguranțe fuzibile cu alungire mecanică a arcului electric, având drept mediu de stingere uleiul.

După topirea fuzibilului 1, arcul electric amorsat între electrozii 2, 3 este alungit prin deplasarea electrodului mobil 3, sub acțiunea resortului pretensionat 4. Datorită pistonului 5, prevăzut cu orificii longitudinale, asupra arcului electric de deconectare se exercită suflaj cu ulei proaspăt, conținut în

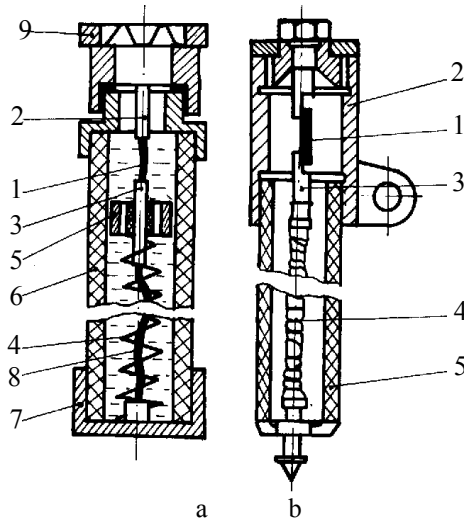


Fig. 8.15

*Siguranțe fuzibile cu alungirea mecanică a
arcului electric*

anvelopa de sticlă 6. Contactele 7 (conectat la fuzibilul 1 prin intermediul conexiunii flexibile 8) și 9 se montează în soclul siguranței.

Acest tip de siguranță, construită pentru tensiuni nominale de 220 kV și curenți nominali cu intensități până la 500 A, se caracterizează prin puteri de rupere la scurtcircuit de 500...1000 MVA.

Pentru stingerea eficientă a arcului electric de deconectare, alungirea mecanică a acestuia poate fi combinată cu autosuflaj de gaze, o astfel de variantă constructivă este prezentată în Fig. 8.15b. Arcul electric produs în urma topirii elementului fuzibil 1, se formează în corpul metalic 2. Prin topirea

fuzibilului se eliberează legătura flexibilă 4, care este trasă în sensul indicat de săgeată, sub acțiunea unui braț exterior armat cu ajutorul unui resort. În acest fel electrodul 3 este deplasat, coloana arcului electric fiind alungită și introdusă în tubul gazogen din viniplast 5, care produce cantitatea de gaze necesară suflajului.

8.5. Alegerea și selectivitatea siguranțelor fuzibile

Alegerea siguranțelor fuzibile se realizează în funcție de instalația protejată.

Pentru protecția liniilor aeriene care alimentează consumatori casnici și mici industriali, curentul nominal al siguranței fuzibile I_{n-sig} , trebuie ales mai mic decât curentul nominal I_n al liniei pentru regimul permanent de funcționare:

$$\frac{I_n}{1,8} < I_{n-sig} < \frac{I_n}{1,25}. \quad (8.16)$$

Pentru protecția liniilor aeriene care alimentează instalații industriale de forță se recomandă:

$$I_{n-sig} \leq 3I_n. \quad (8.17)$$

În cazul motoarelor electrice cu pornire ușoară, timpul de pornire între 3...10 s, curentul nominal al siguranței se alege în funcție de curentul de pornire I_p al motorului, cu relația:

$$I_{n-sig} \cong \frac{I_p}{2,5}, \quad (8.18)$$

dacă se folosesc siguranțe rapide și se ia $I_{n-sig} = I_{n-motor}$ dacă se folosesc siguranțe lente. Pentru motoare cu pornire grea, timpul de pornire între 20...40 s, curentul nominal al fuzibilului se alege cu relația:

$$I_{n-sig} \cong \frac{I_p}{1,6...2}, \quad (8.19)$$

Pentru protecția condensatoarelor destinate îmbunătățirii factorului de putere, se recomandă:

$$I_{n-sig} \cong (1,2...2)I_n. \quad (8.20)$$

În cazul protecției dispozitivelor semiconductoare se utilizează numai siguranțe ultra-rapide, recomandându-se pentru circuite monofazate:

$$I_{n-sig} = 1,57I_n, \quad (8.21)$$

iar pentru circuite trifazate:

$$I_{n-sig} = 1,73I_n. \quad (8.22)$$

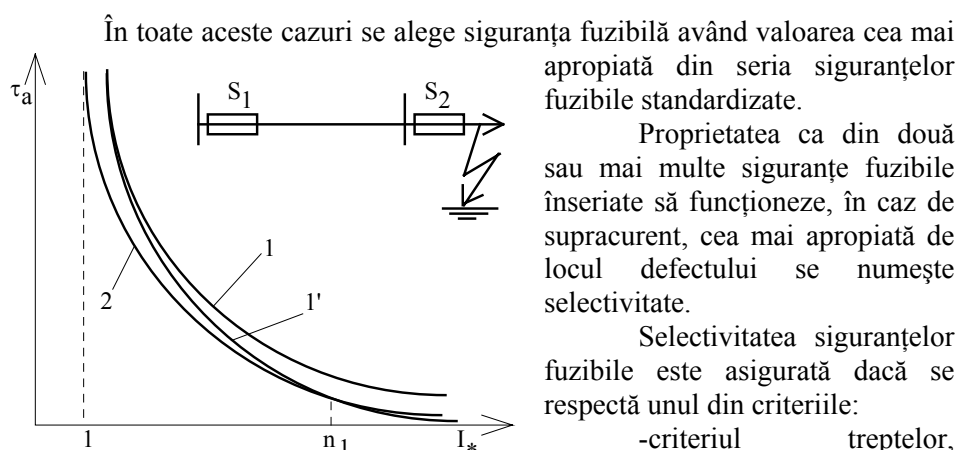


Fig.8.16

Asigurarea selectivității siguranțelor fuzibile

diferență de două sau trei trepte (în cazul scurtcircuitelor violente) între ele.

Spre exemplu, dacă pentru siguranța S_2 se alege intensitatea curentului nominal $I_{n-sig2} = 6$ A, pentru siguranța S_1 se alege intensitatea curentului nominal $I_{n-sig1} = 15$ A sau 20 A, trecându-se peste treapta de 10 A, eventual și peste cea de 15 A;

-criteriul raportului, care impune respectarea inegalității:

$$1,6 \leq \frac{I_{n-sig1}}{I_{n-sig2}}, \quad (8.23)$$

și care se recomandă în cazul siguranțelor cu mare putere de rupere.

Aceste criterii se pot aplica numai în cazul siguranțelor fuzibile produse de același fabricant și dacă sunt de același tip.

Asigurarea selectivității este posibilă pe baza caracteristicilor de protecție timp-curent, Fig.8.16, în sensul că, siguranța din aval, S_2 , trebuie să aibă caracteristica de protecție 2 sub caracteristica de protecție 1 a siguranței din amonte, S_1 . În cazul în care, caracteristica de protecție 1', Fig.8.16, a siguranței fuzibile S_1 intersectează pe cea a siguranței fuzibile S_2 selectivitatea nu mai este asigurată începând de la valoarea n_1 a intensității relative a supracurentului.

În analiza acestui criteriu este necesar să se țină seama și de plaja de dispersie a caracteristicilor de protecție timp-curent ale siguranțelor fuzibile.

Capitolul 6

CONTACTOARE ȘI RUPTOARE

6.1. Generalități

Contactoarele și ruptoarele sunt definite ca echipamente electrice de comutație, cu o singură poziție de repaus, acționate altfel decât manual, capabile să conecteze, să suporte și să deconecteze curenții normali din circuitul în care sunt montate, inclusiv suprasarcinile de serviciu.

Contactoarele sunt echipamente electrice care în poziția de repaus au contactele principale normal deschise în timp ce ruptoarele au contactele principale normal închise. Contactorul închide și menține închis un circuit atât timp cât este prezentă comanda, iar ruptorul deschide circuitul și-l menține astfel timp cât este comandat. Contactoarele și ruptoarele se caracterizează prin duranță mecanică de valori mari $10^6 \dots 10^7$.

În funcție de varianta constructivă, comutația realizată de contactoare poate fi dinamică (cu contacte) sau statică (fără contacte). Acționarea contactoarele cu contacte poate fi obținută pe seama unor surse de energie de diferite naturi (mecanică, hidraulică, pneumatică). Cele mai răspândite sunt contactoarele electromagnetice la care acționarea se obține cu ajutorul electromagneților.

Contactoarele electromagnetice se asociază, uneori, cu blocuri de relele termice, echipamentul obținut numindu-se contactor cu rele termice sau contactor automat; contactoarele cu rele sunt folosite ca echipamente de comandă și protecție la suprasarcină.

6.2. Caracteristici constructive și funcționale

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

Elementul motor al contactoarelor electromagnetice este un electromagnet, de curent continuu în cazul contactoarelor de c.c. și de curent alternativ sau continuu, la contactoarele de c.a.

Căile de curent sunt constituite din bornele de conexiuni, contactele principale și eventualele legături flexibile prin care se asigură continuitatea circuitului principal. Tot pe căile de curent se află înseriate și bobinele de suflaj magnetic atunci când acestea există. Contactele auxiliare ale unui contactor electromagnetic sunt constituite sub forma unui bloc suplimentar de contacte normal închise sau/și normal deschise, având capacitatea de comutare mai mică decât cea corespunzătoare contactelor principale și care sunt utilizate în circuitele secundare de semnalizare și comandă. Contactele principale sunt prevăzute cu camere de stingere, ca dispozitive specializate pentru stingerea arcului electric de comutație.

Contactoarele cu relee conțin relee de protecție la suprasarcină, care în mod obișnuit sunt blocuri de relee termice, prin care se asigură protecția la suprasarcină a motoarelor asincrone de joasă tensiune.

Șasiul și carcasa unui contactor sunt formate din elemente care asigură izolarea, ghidajul pieselor în mișcare și fixarea.

Schemele pentru comanda unui contactor sunt diferite, după cum acesta este de curent continuu sau alternativ.

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. 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.6.1a-pentru contactoare de c.c., respectiv în Fig.6.1b, pentru

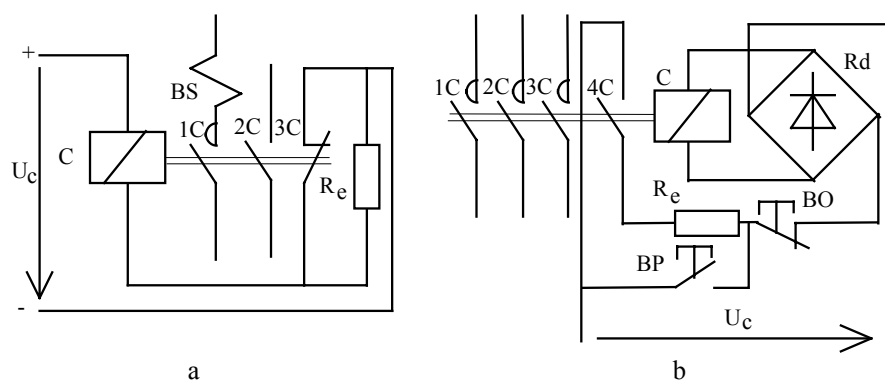


Fig.6.1

Scheme pentru comanda contactoarelor electromagnetice

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 economizatoare R_e este introdusă în circuit prin deschiderea unui contact auxiliar normal închis (3C, Fig.6.1a) sau prin închiderea unui contact auxiliar normal deschis (4C, Fig.6.1b). În schema din Fig.6.1b, contactul 4C realizează și automenținerea comenzii de acționare, dată prin apăsarea butonului BP; revenirea se obține prin întreruperea circuitului bobinei cu ajutorul butonului BO.

Pentru comanda contactoarelor de c.a. cu electromagneți de curent alternativ, se utilizează scheme electrice de tipul celei reprezentate grafic în Fig.6.2.

Comanda se face cu buton dublu (BP, BO), contactul auxiliar 4C servind pentru automenținere. În cazul contactoarelor cu relee termice, R_t , contactul normal închis, 1Rt, al acestora se înscrie în circuitul bobinei.

Tipul electromagnetului de acționare imprimă unele particularități construcției contactoarelor. Astfel, în cazul contactoarelor de curent continuu, este necesară asigurarea unei amplificări a deplasării armăturii mobile a electromagnetului, astfel încât să fie suficientă pentru stingerea arcului electric, obținută la lungimi relativ mari ale coloanei arcului, în cazul curentului continuu. Această condiție poate fi realizată avantajos dacă mișcarea echipajului mobil este una de rotație; în acest scop, electromagneții de acționare ai contactoarelor de c.c. au armătura mobilă cu mișcare de rotație.

Contactele contactoarelor de c.c. se realizează din cupru, de tip deget.

Pentru stingerea arcului electric, aceste contactoare sunt prevăzute cu camere de stingere și cu dispozitive de suflaj magnetic.

Contactoarele de c.a. cu mișcare de rotație au o răspândire restrânsă, această soluție constructivă aplicându-se în cazul unor regimuri grele de funcționare, la curenți nominali având intensități ce depășesc de regulă 400 A. În mod obișnuit, contactoarele de c.a. sunt acționate cu electromagneți având armătura mobilă cu mișcare de translație. Contactele electrice ale contactoarelor cu mișcare de translație sunt de tip punte, cu rupere în două locuri pe calea de curent; piesele de contact se confecționează din argint sau aliaje ale acestuia.

Stingerea arcului electric de

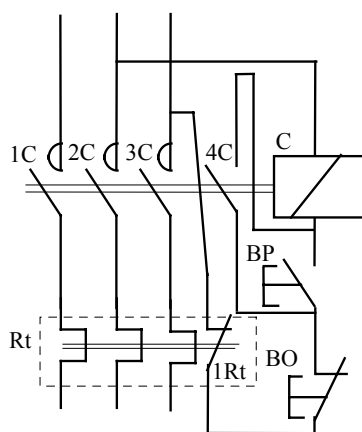


Fig.6.2

*Schemă de comandă pentru
contactor de c.a.*

comutație are loc în camere de stingere prevăzute cu grile metalice; în unele cazuri acestea sunt feromagnetice și cuprate sau zincate la exterior.

Contactoarele electromagnetice de c.c. și c.a. se clasifică după categoriile de utilizare conform Tab.6.1.

Tab.6.1 Clasificarea contactoarelor după categoria de utilizare

Felul curentului	Simbolul categoriei de utilizare	Aplicații caracteristice
alternativ	AC-1	Sarcini neinductive sau slab inductive
alternativ	AC-2	Pornire, frânare, întrerupere motor asincron cu rotor bobinat
alternativ	AC-3	Pornire, oprire motoare asincrone cu rotor în scurtcircuit
alternativ	AC-4	Pornire, oprire, inversare sens, mers în șocuri pentru motoare asincrone cu rotor în scurtcircuit
alternativ	AC-5a	Comutarea lămpilor cu vapori de mercur
alternativ	AC-5b	Comutarea lămpilor cu incandescență
alternativ	AC-6a	Comutarea transformatoarelor
alternativ	AC-6b	Comutarea bateriilor de condensatoare
alternativ	AC-7a	Comutarea sarcinilor slab inductive pentru aplicații domestice și similare
alternativ	AC-7b	Alimentarea motoarelor electrice pentru aplicații domestice și similare
alternativ	AC-8a	Comanda pentru compresoare etanșe la instalații frigorifice
alternativ	AC-8b	Alimentarea cu reanclanșare automată a declanșatoarelor de suprasarcină
continuu	DC-1	Sarcini neinductive sau slab inductive
continuu	DC-2	Pornire, oprire pentru motoare derivație
continuu	DC-3	Pornire, oprire, inversare de sens pentru motoare derivație, comanda prin impulsuri a motoarelor de curent continuu
continuu	DC-4	Pornire, oprire pentru motoare serie
continuu	DC-5	Comanda prin impulsuri a motoarelor cu excitație serie, cu pornire, oprire, inversare sens
continuu	DC-6	Comutația lămpilor cu incandescență

Se menționează că aceste categorii de utilizare se completează continuu cu noi situații de exploatare, ce impun în consecință realizări noi de contactoare electromagnetice. În acest sens, de exemplu, pentru țările în care dubla tarification a energiei electrice se realizează prin telecomandă, s-au impus contactoare specializate pentru asemenea instalații.

6.3. Contactoare electromagnetice de c.c. și c.a.

Contactoarele de c.c. se fabrică într-o gamă restrânsă, pentru utilizări în domeniul echipamentului naval și pentru tracțiune electrică. Se construiesc atât în varianta monopolară, cât și în variantă bipolară.

Schița constructivă a unui contactor monopolar de curent continuu destinat instalațiilor de joasă tensiune este reprezentat în Fig.6.3.

Acționarea contactorului se obține prin punerea sub tensiune a bobinei electromagnetului 2, având armătura mobilă cu mișcare de rotație. Calea de curent principală conține bornele de conexiuni 5, bobina de suflaj magnetic 6 prevăzută cu piesele polare 7, contactul mobil 3, contactul fix 4 și legătura flexibilă 11.

Stingerea arcului electric de deconectare se obține în camera de stingere cu fantă variabilă 8, unde coloana arcului este introdusă prin deplasarea contactului mobil și sub acțiunea suflajului magnetic. Pentru valori relativ mici ale întrefierului de lucru al electromagnetului, contactul asigură o alungire relativ mare a arcului electric, deoarece constructiv se realizează un raport de aproximativ 2:1 între brațul contactului principal și lungimea armăturii mobile a electromagnetului.

Contactele contactorului sunt de tip deget, realizate din cupru tare. Folosirea cuprului este posibilă în acest caz deoarece la închidere contactul mobil execută o mișcare combinată, de rostogolire și de translație față de contactul fix, asigurându-se astfel autocurățirea prin frecare a suprafețelor de contact.

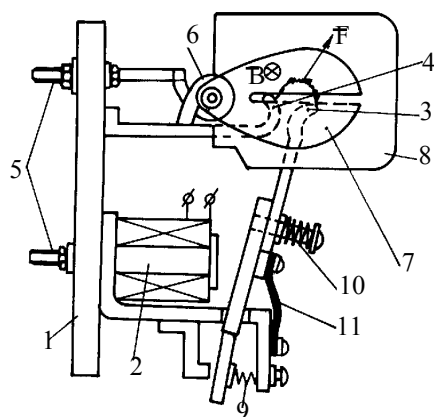


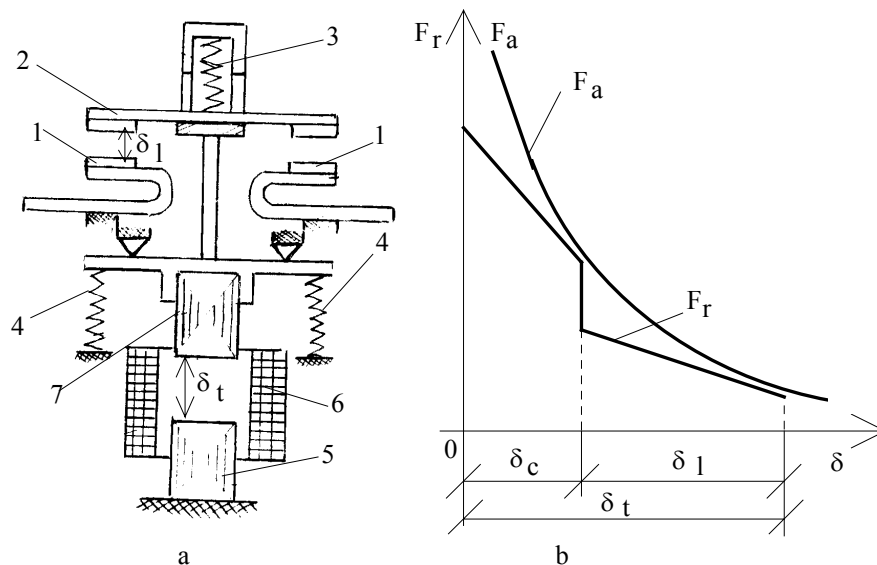
Fig.6.3

Contactor electromagnetic de c.c.

Atât forța inițială de închidere, cât și forța finală de apăsare în contact se obțin cu ajutorul resortului precomprimat 10; resortul 9 servește pentru deschidere.

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

Contactoarele cu mișcare de translație simplă, Fig.6.4, se utilizează în instalații trifazate de joasă tensiune, având curenți nominali cu intensități de maximum 100 A.

**Fig.6.4**

Contactor de c.a. cu mișcare de translație

Construcția unui astfel de contactor, Fig.6.4a, 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.

În Fig.6.4b sunt reprezentate grafic curbele $F_a(\delta)$ -caracteristica electromecanică a electromagnetului de acționare și $F_r(\delta)$ -caracteristica forței rezistente; δ_l , δ_c și 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_l , 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.

Contactele de tip punte cu întrerupere în două locuri pe fază, facilitează stingerea arcului electric de deconectare.

Contactoarele având curenți nominali mai mici de 10 A, nu sunt prevăzute cu camere de stingere; pentru curenți nominali mai mari, camerele de stingere sunt cu fantă îngustă, prevăzute cu grile metalice, stingerea arcului electric obținându-se pe baza efectului de electrod.

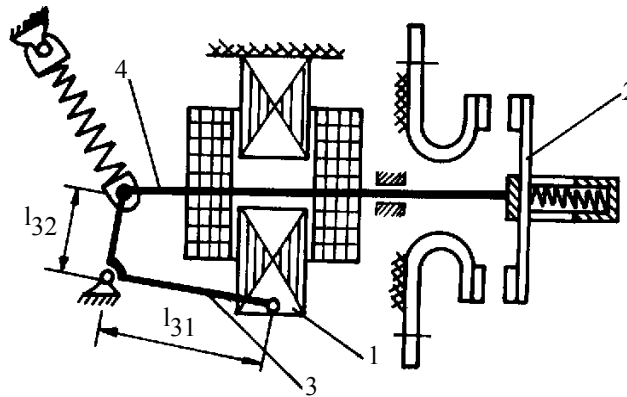


Fig.6.5

Contacteur de c.a. cu mișcare de translație combinată

Pentru a se evita creșterea excesivă a uzurii mecanice, contactoarele având curenți nominali cu intensități de 100...400 A se construiesc cu mișcare de translație combinată. Această soluție permite compensarea creșterii maselor pieselor în mișcare prin micșorarea vitezei la acționare a echipajului mobil, 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.6.5, la echipajul mobil 2, se face prin intermediul pârgiiilor 3, 4; deoarece, prin construcție se asigură ca $l_{31} \cong 2l_{32}$, 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.

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.

6.4. Contactoare sincronizate, hibride și cu vid

Diminuarea uzurii electrice a contactelor echipamentelor de comutație are efecte economice importante, rezultând în primul rând din creșterea duratei de funcționare a acestora, exprimată prin numărul maxim de comutări în sarcină.

Micșorarea uzurii electrice se poate obține prin reducerea la minimum a duratei de ardere a arcului electric de deconectare.

Unul din procedeele utilizate în acest scop îl constituie sincronizarea momentului desprinderii contactelor de comutație, în raport cu momentul anulării intensității curentului din circuitul deconectat; variantele constructive având o astfel de funcționare se numesc contactoare sincronizate.

Contactorul sincronizat care apelează la un dispozitiv electromagnetic de sincronizare are schema de principiu dată în Fig.6.6a unde se evidențiază următoarele elemente componente:

-contactorul electromagnetic cu electromagnetul de acționare 1, puntea contactelor mobile 2, contactele fixe 3, resorturile precomprimate 4 și resortul de deschidere 6, care se tensionează în timpul manevrei de conectare;

-ansamblul de sincronizare, care sesizează trecerile naturale prin zero ale curentului din circuit, ce folosește transformatorul de adaptare 5 și electromagnetul de sincronizare 7.

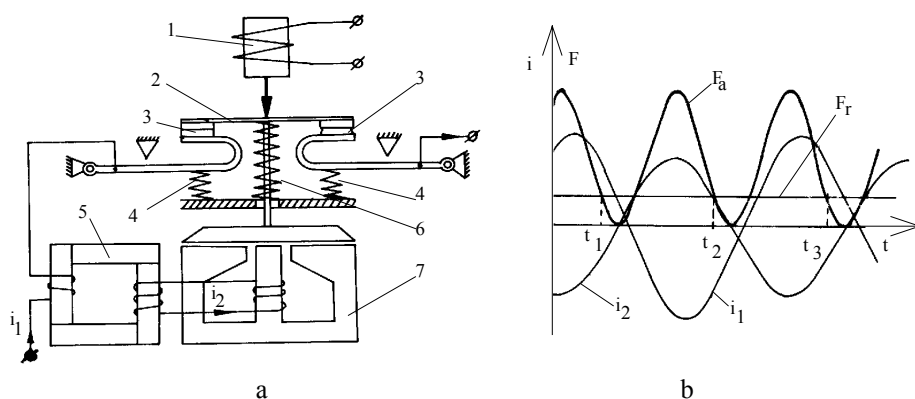


Fig.6.6
Contactor sincronizat

Funcționarea unui asemenea contactor cu sincronizare electromagnetică a deconectării, Fig.6.6b, decurge astfel: la întreruperea alimentării electromagnetului de acționare 1, traversa contactelor mobile este menținută în poziția acționat datorită electromagnetului de reținere 7, cu bobina parcursă de curentul $i_2(t)$, furnizat prin intermediul transformatorului de adaptare 5, a cărei înfășurare primară este în serie cu circuitul principal de curent $i_1(t)$. Dependența în funcție de timp a forței de atracție exercitate de electromagnetul 7 asupra armăturii sale mobile, cu treceri prin zero simultane cu cele ale curentului $i_2(t)$, pune în evidență posibilitatea deschiderii contactelor 2, 3 ale aparatului în unul din momentele $t_1, t_2, t_3, \dots$, în care forța electromagnetică de menținere, F_a , este egală cu forța resorturilor antagoniste, F_r . În momentul t_3 de exemplu, anterior trecerii naturale prin zero a curentului din circuitul principal, $i_1(t)$, se începe mișcarea traversei 2 a contactelor mobile. Pentru a se obține deconectarea sincronizată este desigur necesar ca deschiderea contactelor aparatului să intervină exact în momentul trecerii prin zero a curentului din circuitul principal, ajustarea bunei funcționări asigurându-se fie pe seama inerției mecanice mari a contactelor fixe 3, ce au masa suficient de mare, fie prin modificarea întrefierului transformatorului de adaptare 5.

De remarcat faptul că dacă timpul propriu de răspuns al dispozitivului de acționare al contactorului este mare se poate amâna deconectarea sincronizată la o trecere ulterioară prin zero a curentului din circuitul principal.

Contactorul prezentat, funcționând la joasă tensiune, permite

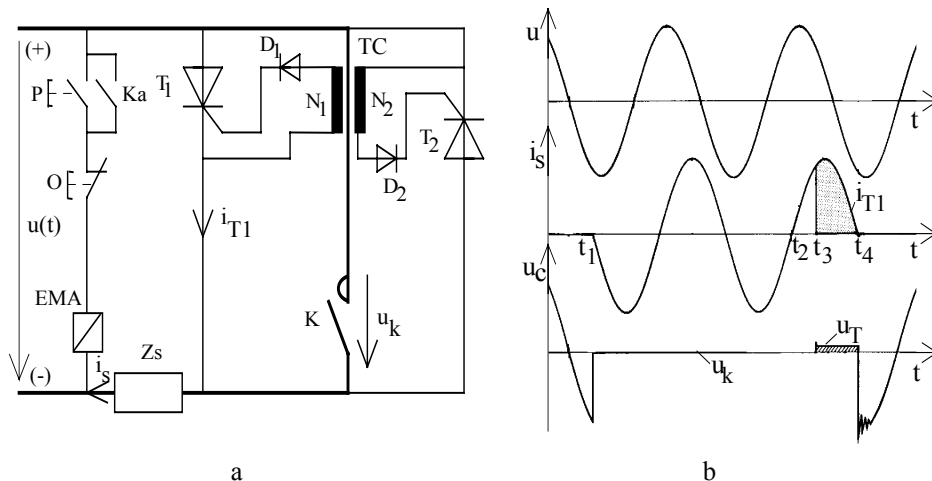


Fig.6.7
Contactor cu comutație hibridă

întreruperea unor curenți având intensități de 150...1000 A, la $\cos\phi=0,35$, practic fără arc electric. Pe această cale uzura electrică a contactelor se reduce de 15...20 ori față de cea a contactelor contactoarelor electromagnetice obișnuite. În aceste condiții, durata de funcționare a contactelor se apropie de anduranța mecanică a contactorului.

Contactorul hibrid reprezintă de asemenea o soluție constructivă prin care se urmărește realizarea deconectării fără arc electric. Contactoarele hibride îmbină avantajele echipamentelor de comutație cu contacte cu cele ale echipamentelor de comutație statică, la care deconectarea se obține fără arc electric.

Schema de principiu pentru un contactor monofazat cu comutație hibridă la deconectare este dată în Fig.6.7a. Comanda trecerii în conducție a tiristoarelor T_1 sau T_2 , în funcție de polaritatea momentană a sursei alternative de alimentare a circuitului $u(t)$, se realizează cu ajutorul transformatorului de curent TC cu două înfășurări secundare, N_1 și N_2 , al cărui primar este chiar calea de curent a aparatului de comutație.

De remarcat că prin apăsarea butonului de oprire O se întrerupe alimentarea bobinei electromagnetului de acționare EMA astfel încât, după deschiderea contactului principal K și preluarea conducției prin unul dintre tiristoare (T_1 în cazul indicat în Fig.6.7a), înfășurarea primară a transformatorului de curent TC nu mai este parcursă de curent și după o semiperioadă, intervine întreruperea alimentării consumatorului Zs.

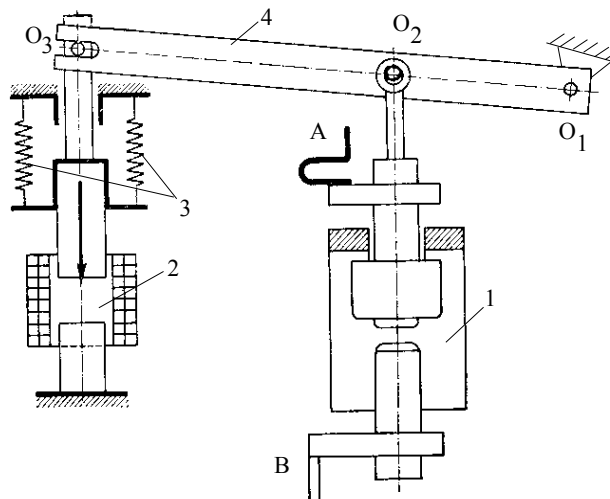
Evoluția în timp a mărimilor caracteristice (tensiunea sursei, curentul din circuitul de sarcină, curentul care parcurge tiristorul T_1 , tensiunea la bornele contactului care se deschide) sunt indicate în Fig.6.7b, momentul t_1 corespunzând închiderii contactelor aparatului iar intervalul de timp t_3-t_4 reprezentând durata conducției tiristorului.

Durata de funcționare a contactelor unor astfel de contactoare devine comparabilă cu anduranța mecanică, cifrându-se la valori de ordinul (10...15) 10^6 manevre.

Contactorul cu comutația în vid prezintă, în principiu, următoarele părți constructive, Fig.6.8:

- capsulele vidate 1, în care sunt amplasate contactele electrice, cu burdufurile metalice de etanșare în zona contactelor mobile și bornele de racord A, respectiv B;

- electromagnetul de acționare 2 (de obicei de curent continuu, cu resort antagonist (3) și rezistență economizoare), care excitat asigură deplasarea dorită

**Fig.6.8**

Schema de principiu a unui contactor cu vid

(de ordinul milimetrilor) a contactelor mobile; de menționat că există firme care folosesc un singur electromagnet pentru toți cei trei poli ai echipamentului, dar se remarcă și variante ce apelează la electromagneți de acționare pentru fiecare dintre modulele monofazate ale ansamblului;

-ansamblul de transmitere a mișcării de la electromagnetul de acționare la contactele mobile, realizat cu pârghii mecanice (4) sau cu cablu flexibil;

-accesorii de susținere, ghidare și izolație electrică, contacte auxiliare.

Pentru închiderea contactelor se excită bobina electromagnetului 2 și se determină rotația pârghiei 4 în jurul axului fix O_1 . Contactul mobil al contactorului este împins în direcția de închidere, operație ce se efectuează fără vibrații. Resorturile antagoniste 3 mențin contactele în poziția deschis, atunci când electromagnetul nu este comandat, deoarece presiunea atmosferică exercitată asupra burdufului metalic de etanșare din capsula vidată aduce elementele de contact în atingere.

Schemele de comandă a electromagnetului de curent continuu folosit pentru acționarea contactoarelor cu comutație în vid, pot fi alimentate de la surse de tensiune continuă sau alternativă (cu punte redresoare), incluzând în circuit rezistența economizoare.

Calitățile contactoarelor cu comutație în vid avansat le impun pentru utilizări cum ar fi:

- alimentarea motoarelor electrice;
- sisteme de comandă a acționărilor electrice, pe seama valorilor ridicate ale curentului de rupere;
- alimentarea instalațiilor electrice în medii explozive sau agresive din punct de vedere chimic, indiferent de altitudinea la care se găsesc acestea, deoarece arcul electric ce se manifestă în incinta vidată nu este influențat de mediul ambiant;
- alimentarea sistemelor automate, unde durata mare de viață și frecvența de conectare ridicată pot fi puse în valoare.

Capitolul 10

DESCĂRCĂTOARE ELECTRICE

10.1. Aspecte funcționale cu privire la descărcătoare

Descărcătoarele sunt echipamente electrice de protecție destinate să protejeze izolația instalațiilor împotriva supratensiunilor.

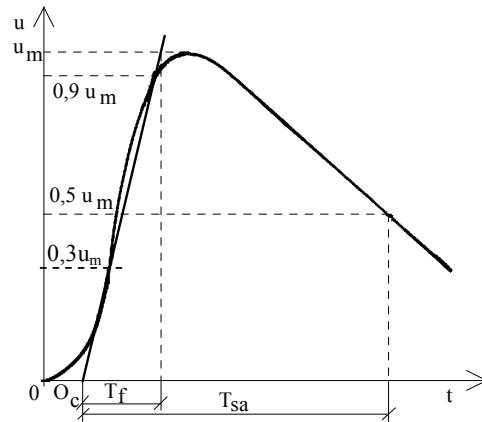
Izolația echipamentelor montate în instalații este supusă în funcționare la solicitări electrice date de următoarele tensiuni:

- tensiunea de serviciu, având frecvența industrială în cazul instalațiilor de curent alternativ, solicitare de lungă durată, cu valori maxime prescrise;
- supratensiunile temporare, care sunt solicitările exercitate pe durate limitate, în care în instalații se înregistrează regimuri caracterizate prin tensiuni care depășesc valorile maxime ale tensiunii de serviciu;
- supratensiunile de comutație, reprezentând solicitări de scurtă durată, de regulă sub forma unor oscilații amortizate;
- supratensiuni externe, de origine atmosferică, produse în urma descărcărilor electrice din natură, care sunt supratensiuni cu durate foarte mici, având valori de vârf foarte mari.

Pentru încercările izolației în laboratoare, supratensiunile temporare sunt asimilate cu tensiuni mărite, având frecvența industrială, iar supratensiunile de comutație și cele atmosferice, cu unde de impuls de tensiune, având parametrii precizați în Fig.10.1, unde s-a notat: u_m -valoarea de vârf, T_f -durata frontului, T_{sa} -durata de semiamplitudine, O_c -originea convențională.

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

Izolația echipamentelor electrice se caracterizează în funcție de solicitările menționate prin: tensiunea nominală, tensiunea nominală de ținere la supratensiuni de frecvență industrială, respectiv la supratensiuni de comutație și atmosferice.

**Fig.10.1**

Parametrii impulsului normal de tensiune

tensiuni nominale $U_n = 1...300$ kV), fie tensiunea nominală de ținere la supratensiuni de comutație (pentru $U_n > 300$ kV).

Deoarece, în instalațiile de înaltă tensiune, supratensiunile de origine atmosferică și cele de comutație depășesc în mod frecvent nivelurile de izolație nominale corespunzătoare, pentru a se asigura integritatea izolației este necesară limitarea acestor supratensiuni.

Rolul de limitare a supratensiunilor de origine atmosferică și a celor de comutație, la valori ale nivelului de protecție, u_p , mai mici decât cele care definesc nivelul de izolație nominal, este îndeplinit de echipamentele de protecție numite descărcătoare electrice.

Cele mai des întâlnite în instalațiile de înaltă tensiune sunt descărcătoarele cu coarne, descărcătoarele cu rezistență variabilă, cele cu rezistență variabilă și suflaj magnetic, descărcătoarele cu oxizi metalici.

Descărcătoarele cu coarne se utilizează pentru protecția împotriva supratensiunilor a liniilor electrice și a posturilor de transformare de medie tensiune, realizate în construcție aeriană, având puteri până la 250 kVA.

Aceste echipamente se montează, de asemenea pe izolatoarele lanț care funcționează la tensiunile de 110 kV și 220 kV, cu rolul de a uniformiza gradientul de potențial în lungul izolatorului și de a localiza, la electrozii proprii atât descărcările parțiale cât și eventualele conturnări, asigurându-se astfel protecția suprafețelor izolatoarelor împotriva efectelor termice ale arcului electric.

Nivelul de izolație nominal al echipamentelor de joasă tensiune se definește prin tensiunea nominală de ținere la supratensiuni de frecvență industrială (având valori între 1000 și 3500 V, în funcție de tensiunea nominală, U_n).

Nivelul de izolație nominal al echipamentelor de înaltă tensiune se definește prin tensiunea nominală de ținere la supratensiuni atmosferice, la care se adaugă fie tensiunea nominală de ținere la supratensiuni de frecvență industrială (pentru

10.2. Descărcătoare clasice cu rezistoare neliniare

10.2.1. Construcția și funcționarea descărcătoarelor cu rezistență variabilă

Construcția unui descărcător cu rezistență variabilă și schema electrică de principiu sunt prezentate în Fig.10.2. Partea activă a descărcătorului este formată dintr-un număr de spații disruptive (eclatoare) 1, înseriate cu rezistența variabilă 2, ce este alcătuită din mai multe discuri din carbură de siliciu înseriate.

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

În interiorul anvelopei se introduc substanțe higroscopice (clorură de calciu) sau azot uscat la presiune atmosferică. Pentru evitarea exploziei carcasei de porțelan 3, descărcătorul este prevăzut cu o supapă de siguranță, realizată dintr-o membrană elastică.

În paralel cu eclatoarele $E_1...E_4$ sunt cuplate rezistențele de egalizare $R_1...R_4$, având rolul de a asigura o distribuție uniformă a tensiunii pe lanțul de

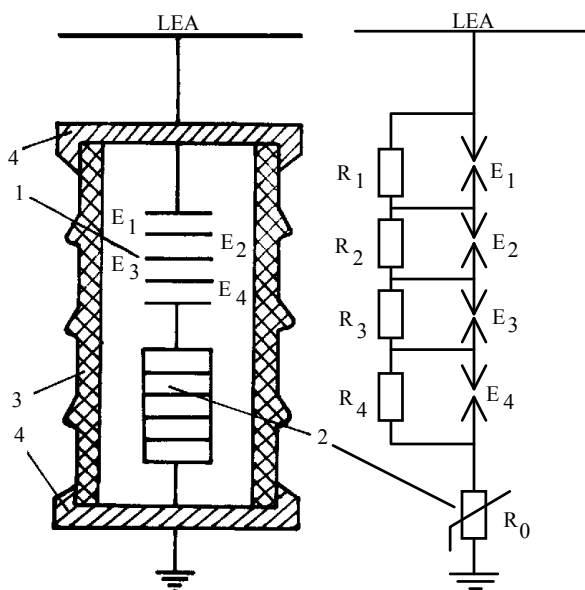
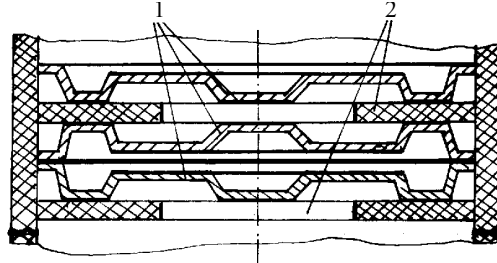


Fig.10.2

Descărcător cu rezistență variabilă

**Fig.10.3**

Dispunerea eclatoarelor unui descărcător cu rezistență variabilă

eclatoare. Cu R_0 s-a notat rezistența variabilă, care de fapt este un element rezistiv neliniar de circuit, a cărui rezistență depinde de tensiunea de la bornele lui (varistor).

Eclatoarele unui descărcător cu rezistență variabilă, Fig.10.3, au electrozii 1 de tip disc, confecționați prin ambutisare, din tablă de alamă, fixarea lor

fiind făcută cu piesele electroizolante 2.

La unele construcții, în zona eclatoarelor se montează piese din titanat de bariu, care mențin o stare de preionizare, favorabilă amorsării descărcărilor între electrozi. Distanța dintre electrozi corespunde amorsării la tensiuni de 3...6 kV. Rezistența neliniară R_0 , Fig.10.2, este alcătuită din discurile 2, de carbura de siliciu (carborund), având diametre de 75...100 mm și grosimi de 20...70 mm.

Caracteristica volt-ampere a acestui rezistor neliniar se poate aproxima cu o relație de forma:

$$i = Ku^\alpha, \quad (10.1)$$

în care: u este valoarea instantanee a tensiunii aplicate rezistorului, K -constantă de material, α -coeficient de neliniaritate cu valori cuprinse între 4 și 6, i -valoarea instantanee a curentului care circulă prin rezistor.

Pentru rezistența dinamică a discurilor, R_{0d} , unde:

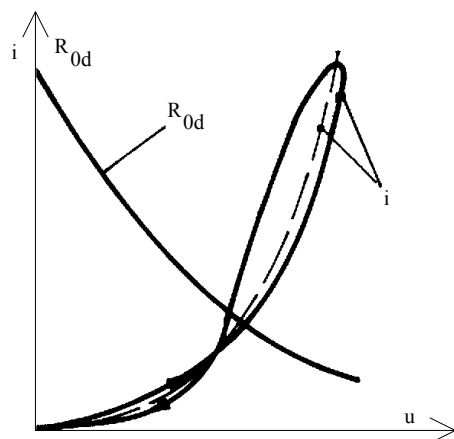
$$R_{0d} = \frac{du}{di}, \quad (10.2)$$

din (10.1) rezultă expresia:

$$R_{0d} = \frac{1}{\alpha Ku^{\alpha-1}}. \quad (10.3)$$

În Fig.10.4 sunt reprezentate grafic caracteristica $i(u)$, ridicată experimental pentru un disc de carborund și curba $R_{0d}(u)$, dată de relația (10.3).

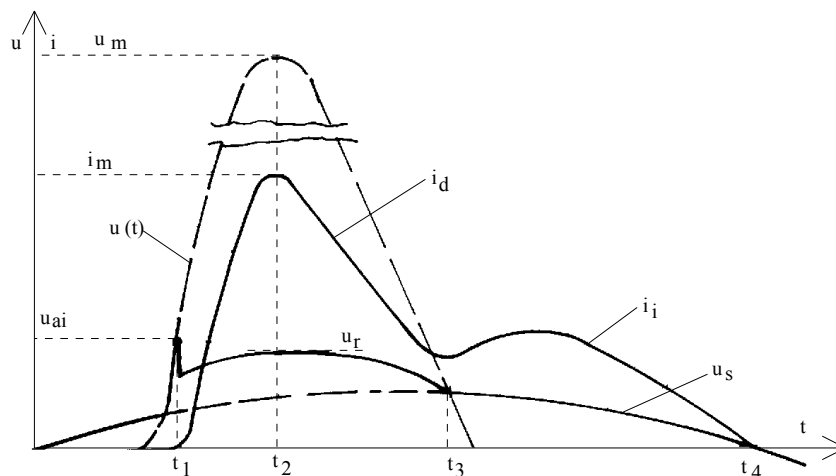
Neliniaritatea rezistenței carborundului se explică prin existența pe suprafața fiecărui cristal de carborund a unui strat subțire de oxid de siliciu, care

**Fig.10.4**

Caracteristica volt-ampere și rezistența dinamică pentru un disc de carborund

0,3...2 mA.

La apariția unei unde de supratensiune, Fig.10.5, în momentul t_1 când tensiunea aplicată descărcătorului este superioară tensiunii de amorsare la impuls, u_{ai} , spațiile disruptive ale eclatoarelor sunt străpunse și prin descărcător circulă curentul de descărcare i_d , prin care sarcinile electrice corespunzătoare

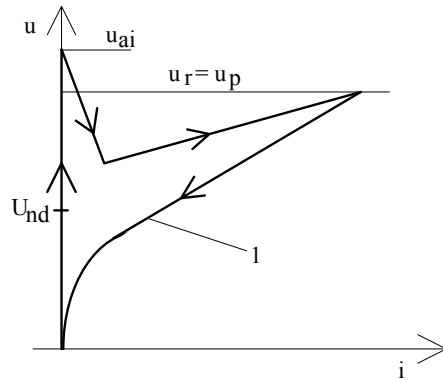
**Fig.10.5**

Evoluția tensiunii și curentului pe durata funcționării unui descărcător cu rezistență variabilă

are proprietatea de a-și schimba rezistența electrică în funcție de gradientul tensiunii.

Pe cristallul elementar al corborundului, pentru tensiuni de la câteva zecimi de volt până la câțiva volți, intensitatea câmpului electric pe stratul subțire are valori de ordinul $10^3...10^4$ V/cm și mai mult. Un astfel de gradient este suficient pentru a mări conductivitatea stratului de oxid.

În regim normal de funcționare, sub acțiunea tensiunii alternative de serviciu a liniei, prin descărcător circulă un curent de conducție având intensitatea de

**Fig.10.6**

Caracteristica volt-ampere a descărcătorului cu rezistență variabilă

În canalele descărcării inițiale dintre eclatoare se dezvoltă descărcări prin arc electric, parcurs de curentul de însoțire având intensitatea i_i . Acesta, produs de tensiunea alternativă de serviciu a liniei, este de frecvență industrială.

Deoarece tensiunea la bornele descărcătorului scade rezistența dinamică R_{0d} , a discurilor de corborund crește limitând intensitatea curentului. Astfel, în momentul t_4 , la prima trecere prin zero a intensității curentului de însoțire, se obține stingerea definitivă a arcului electric amorsat la eclatoare și revenirea descărcătorului în starea inițială.

Rezultă astfel că în urma funcționării descărcătorului, unda de supratensiune care ar fi solicitat izolația instalației la valoarea de vârf u_m , Fig.10.5, este limitată în amplitudine, valorile de vârf ale tensiunii la bornele descărcătorului, pe durata funcționării acestuia fiind mai mici, cel mult egale cu tensiunea corespunzătoare nivelului de protecție, u_p .

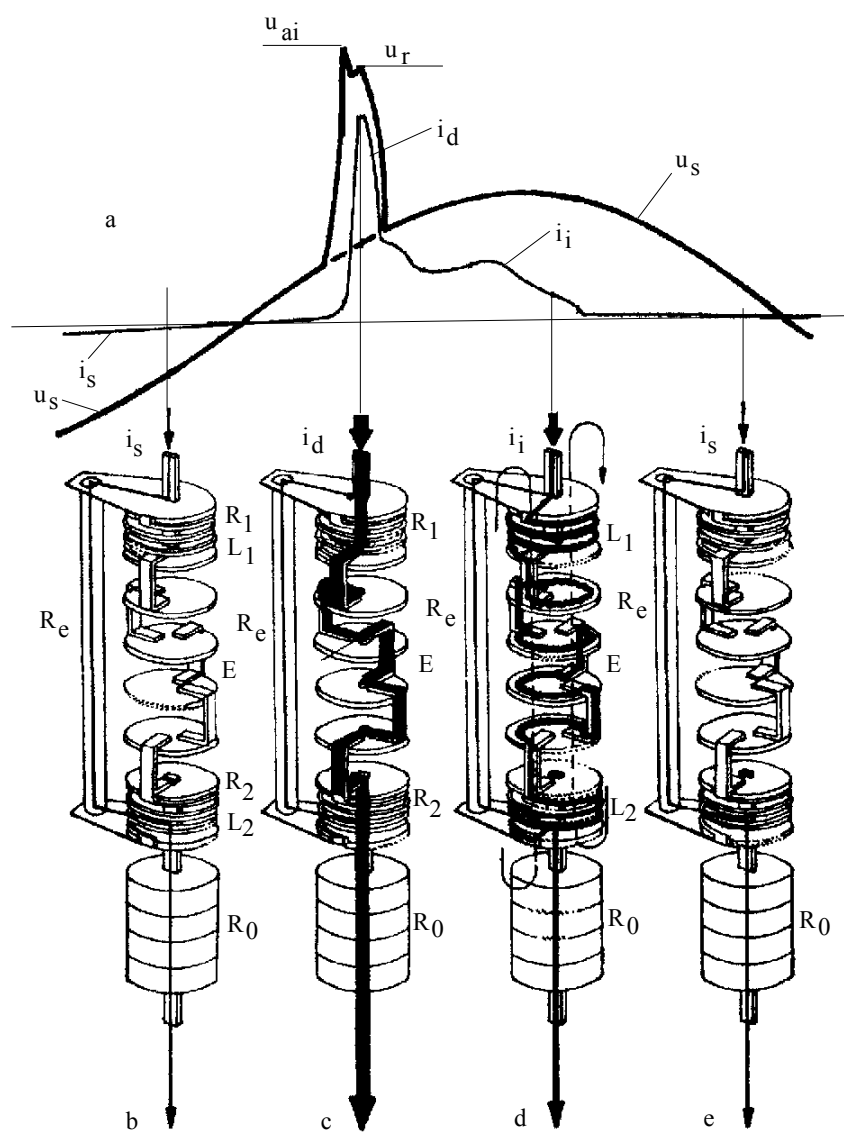
Caracteristica volt-ampere specifică funcționării unui descărcător cu rezistență variabilă este reprezentată în Fig.10.6, unde u_p reprezintă nivelul de protecție, U_{nd} -tensiunea nominală a descărcătorului (considerată în valori de vârf), curba 1-caracteristica volt-ampere a discurilor de carborund, u_{ai} -tensiunea de amorsare la impuls pe frontul unde, u_r -tensiunea reziduală.

unde de supratensiune sunt circulate la pământ. Valorile mari ale tensiunii aplicate descărcătorului determină un punct de funcționare corespunzător unor valori mici ale rezistenței R_{0d} , Fig.10.4, unda de supratensiune fiind limitată în amplitudine. Valoarea maximă, u_r , a tensiunii la bornele descărcătorului după amorsare, se numește tensiune reziduală.

Începând cu momentul t_3 , când se încheie scurgerea la pământ a curentului de descărcare, tensiunea aplicată descărcătorului are valorile tensiunii de serviciu, u_s , a liniei.

10.2.2. 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.

**Fig.10.7**

Descărcător cu rezistență variabilă și cu suflaj magnetic

Construcția unui asemenea descărcător, Fig.10.7, cuprinde rezistoarele neliniare R_0 , R_1 , R_2 , înseriate cu lanțul de eclatoare E . În paralel cu R_1 , R_2 și lanțul de eclatoare E este conectată rezistența liniară de egalizare R_e . Bobinele destinate suflajului magnetic, de inductanțe L_1 , L_2 , sunt conectate în paralel cu rezistențele neliniare R_1 , R_2 . În Fig.10.7a sunt prezentate evoluția curentului și a tensiunii pe durata funcționării unui descărcător cu suflaj magnetic, iar în Fig.10.7b,c,d,e, patru situații specifice care caracterizează funcționarea acestuia.

În situație normală, Fig.10.7b, 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.10.7c, 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.10.4. În același timp, reactanțele inductive ale bobinelor de suflaj sunt de valori mari, determinate fiind de frecvențele înalte ale componentelor spectrului armonic ale curentului de descărcare i_d .

În aceste condiții, curentul de descărcare se încheie practic pe traseul R_1 , R_2 , R_0 , Fig.10.7c.

După limitarea în amplitudine a unei de supratensiune, prin canalul descărcărilor inițiale dintre electrozii eclatoarelor se dezvoltă o descărcare prin arc electric, parcursă de curentul de însoțire i_i , Fig.10.7d, produs la rândul lui de tensiunea de serviciu a liniei, u_s , de frecvență industrială.

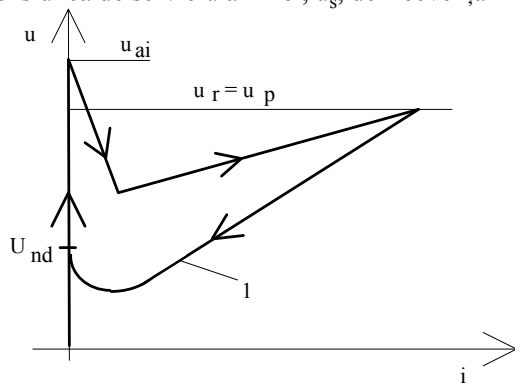


Fig.10.8

Caracteristica volt-ampere pentru un descărcător cu suflaj magnetic

inductive ale bobinelor de suflaj se micșorează.

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.10.7d, deoarece, la frecvență industrială, reactanțele

Bobinele de suflaj, parcurse de curentul de însoțire, produc în zona eclatoarelor un câmp magnetic, astfel 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 trecere lui prin zero, Fig.10.7e.

Caracteristica volt-ampere corespunzătoare funcționării unui descărcător cu rezistență variabilă și suflaj magnetic este dată în Fig.10.8, notațiile având aceleași semnificații ca și în cazul Fig.10.6.

10.2.3. Parametrii și caracteristicile descărcătoarelor cu rezistență variabilă

Date fiind tendințele actuale privind asigurarea unor niveluri cât mai scăzute ale izolației în instalațiile de înaltă și foarte înaltă tensiune, performanțele unui descărcător cu rezistență variabilă sunt determinate în principal de capacitatea de descărcare a acestuia, prin care se înțelege proprietatea descărcătorului de a permite, fără să se deterioreze, circulația unor curenți de impuls, specificați ca număr, formă și amplitudine.

Verificarea **capacității de descărcare** constă în trecerea prin descărcător a două impulsuri succesive de curent, **undă 4/10 μ s și a 20 de impulsuri dreptunghiulare** de curent, conform datelor din Tab.10.1.

Capacitatea de descărcare este corelată cu **curentul nominal**, definit ca valoarea de vârf a intensității **impulsului de curent 8/20 μ s**, care se poate repeta fără deteriorarea descărcătorului.

Tensiunea nominală a descărcătorului se alege în funcție de valorile tensiunii de serviciu a instalației protejate și de coeficientul de punere la

Tab.10.1

Curentul nominal al descărcătorului [A]	Amplitudinea undei de impuls 4/10 μ s [kA]	Impuls dreptunghiular	
		Amplitudine [A]	Durată convențională a vârfului, [μ s]
1500	10	-	-
2500	25	50	500
5000	65	75	1000
10000	100	150	2000

pământ, astfel încât tensiunea nominală a descărcătorului să fie cu puțin superioară tensiunii fazelor sănătoase, în situația unei puneri monofazate la pământ.

Precizia cu care se obține amorsarea eclatoarelor și stingerea arcului electric dintre electrozii acestora constituie un element definitoriu pentru performanțele unui descărcător cu rezistență variabilă. Precizia tensiunii de amorsare se îmbunătățește prin alegerea convenabilă a formei constructive a electrozilor și printr-o repartizare uniformă a tensiunii pe lanțul de eclatoare. Cu toate aceste măsuri, abaterea tip a valorilor tensiunii de amorsare nu poate scăde sub 2...3%.

Tensiunea de amorsare la impuls pe frontul undeii, u_{ai} , reprezintă valoarea maximă a tensiunii la bornele descărcătorului, înainte de trecerea curentului de descărcare, Fig.10.5.

Tensiunea de 100% amorsări la impuls de 1,2/50

μS reprezintă valoarea de vârf minimă a undeii normale de impuls de tensiune care, aplicată repetat descărcătorului, produce cel puțin 5 amorsări consecutive ale acestuia.

Pentru un descărcător dat, tensiunea de amorsare la impuls pe frontul undeii divizată cu 1,15, tensiunea de 100% amorsări la impuls de 1,2/50 μs și tensiunea reziduală sunt valori apropiate, cea mai mare dintre acestea constituind nivelul de protecție, u_p .

Caracteristicile de protecție ale unui descărcător sunt curbele tensiune-timp de amorsare la undă de impuls normală, la care, pentru descărcătoarele destinate serviciului intensiv, se adaugă curbele tensiune-timp de amorsare la supratensiuni de comutație. Ridicarea caracteristicii tensiune-timp de amorsare la undă de impuls normală se efectuează utilizând polaritatea impulsului care prezintă tensiunea de amorsare cea mai ridicată. Datele necesare se obțin aplicând impulsuri cu valori de vârf progresiv crescătoare, Fig.10.9, pentru fiecare amorsare înregistrându-se **valoarea maximă a tensiunii înainte de amorsare și durata până la amorsare**, măsurată din originea convențională.

Caracteristica tensiune-timp de amorsare la supratensiuni de comutație se ridică experimental printr-un procedeu similar.

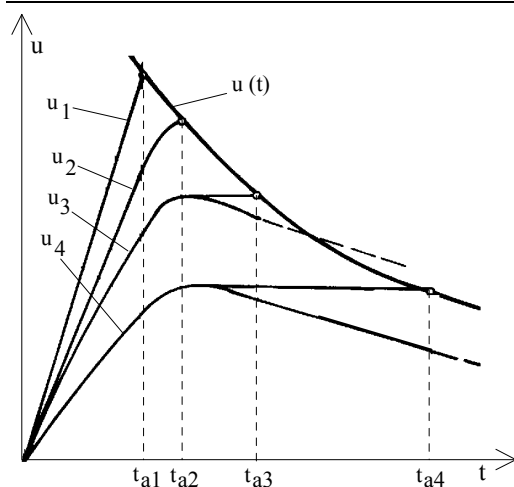


Fig.10.9

Caracteristica de protecție tensiune-timp

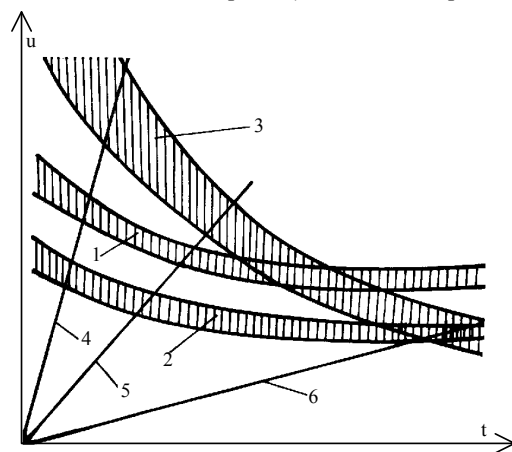


Fig.10.10

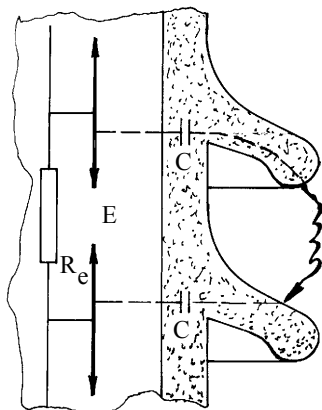
Caracteristici tensiune-timp

Diferențele funcționale existente între un descărcător cu coarne și unul cu rezistență variabilă sunt evidențiate cu ajutorul caracteristicilor tensiune-timp, în varianta amorsării pe frontul unei unde de impuls. Aceste caracteristici sunt reprezentate în Fig.10.10, unde s-a notat: 1-nivelul nominal de ținere la undă de impuls normală, pentru izolația unui transformator, 2-nivelul de protecție, la același tip de undă, al unui descărcător cu rezistență variabilă, 3-curba tensiune-timp de amorsare la undă de impuls normală, pentru un descărcător cu coarne.

Din caracteristicile prezentate rezultă că în timp ce un descărcător cu rezistență variabilă asigură protecția izolației pentru unde de impuls cu pante mari, 4, 5, descărcătoarele cu coarne realizează protecția numai pentru unde de impuls 6, cu pante de valori mici.

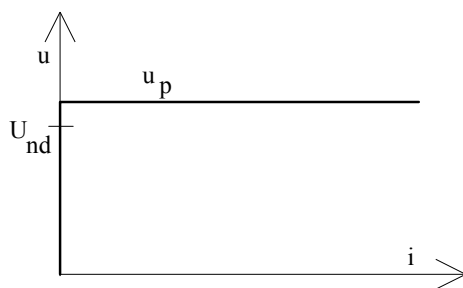
Un inconvenient major al descărcătoarelor prezentate constă în prezența eclatoarelor în construcția

acestora. Perfecționarea realizării eclatoarelor nu elimină complet dispersia valorilor tensiunii de amorsare a acestora.

**Fig.10.11***Apariția descărcărilor*

Prezența eclatoarelor favorizează producerea unor descărcări puternice pe suprafața exterioară a anvelopei de porțelan, uneori chiar în fază uscată, mai ales în medii puternic poluate, Fig.10.11. Aceste descărcări influențează partea activă a descărcătorului, prin capacitățile parțiale C . Datorită scurtcircuitării unor spații disruptive, apar creșteri ale potențialelor pe altele, astfel încât devine posibilă amorsarea accidentală completă a descărcătorului.

Utilizarea tensiunilor foarte înalte în instalațiile de transport al energiei electrice reclamă realizarea unor niveluri de protecție scăzute, astfel încât scumpirea izolației,

**Fig.10.12***Caracteristica volt-ampere ideală*

odată cu creșterea tensiunii nominale, să nu devină excesivă.

Această cerință apropie nivelul de protecție de cel al supratensiunilor temporare, încât este necesară asigurarea unei înalte selectivități în funcționare pentru un astfel de descărcător.

În acest context, dezvoltarea tehnicii descărcătoarelor trebuie să vizeze obiectivul obținerii unor

materiale cu proprietăți de varistor, având caracteristica volt-ampere cât mai apropiată de cea ideală, Fig.10.12.

10.3. Descărcătoare cu oxizi metalici

Dezvoltarea construcției de descărcătoare în momentul actual are în vedere inconvenientele descărcătoarelor cu rezistență variabilă, respectiv cu rezistență variabilă și suflaj magnetic, pe de o parte și cerințele dezvoltării instalațiilor de transport al energiei electrice, pe de altă parte.

Construcția descărcătoarelor moderne se reduce la aceea a unui rezistor puternic neliniar, de tip varistor, obținut prin procedeul de sinterizare în fază

lichidă a unui amestec din pulberi de ZnO, în proporția cea mai mare (peste 90%), cu alți oxizi metalici precum: Bi_2O_3 , CoO , MnO , Cr_2O_3 etc.



Fig.10.13

Structura discurilor din oxizi metalici

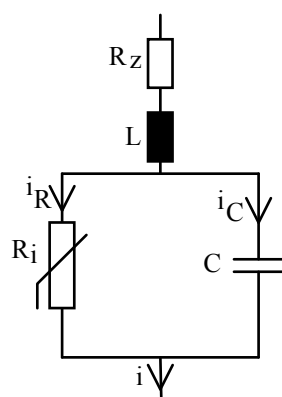


Fig.10.14

Schema electrică echivalentă a unui disc din ZnO

Sinterizarea constă în amestecarea pulberilor de oxizi cu o granulație foarte fină și presarea acestora în forma dorită, urmată de încălzirea la o temperatură suficient de înaltă, superioară temperaturii de topire a Bi_2O_3 (820°C), când ZnO rămâne solid (temperatura de topire a ZnO este în jur de 2000°C).

Faza lichidă trece în fază solidă în timpul răcirii formându-se o structură policristalină densă. Structura corpului sinterizat, Fig.10.13, este aproape matriceală formată din particule de ZnO, cu o conductibilitate electrică înaltă, separate de o peliculă intergranulară de Bi_2O_3 și alți oxizi aditivi, care are proprietatea de a-și modifica rezistența la variația

gradientului de tensiune. Oxidul de cobalt se adaugă într-o proporție foarte mică (1%) și servește pentru dopajul oxidului de zinc, micșorându-i rezistivitatea.

Granulele de ZnO, având dimensiuni de ordinul a $10\ \mu\text{m}$, Fig.10.13, sunt înconjurate de pelicule de trioxid de bismut, ale căror grosimi variază între $0,005\ldots 0,01\ \mu\text{m}$ și care constituie bariere electrice izolante.

Fiecare barieră este un element de rezistență neliniară, având căderea de tensiune de aproximativ $2,5\ \text{V}$ la o densitate de curent de $10^{-5}\ \text{A/mm}^2$. La o variație a tensiunii aplicate cu 5%, variația corespunzătoare a curentului este de 10/1.

Discul din ZnO poate fi reprezentat prin circuitul electric echivalent din Fig.10.14, 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. Granule de ZnO au o rezistență R_z , a căror rezistivitate este de circa $0,01 \Omega\text{m}$. Discul din oxizi metalici are o inductanță L care este determinată de geometria căii de descărcare a curentului prin disc.

Caracteristicile tensiune-curent pentru componenta rezistivă (i_R), respectiv capacitivă (i_C) ale curentului i care circulă prin discul de oxizi metalici sunt reprezentate în Fig.10.15.

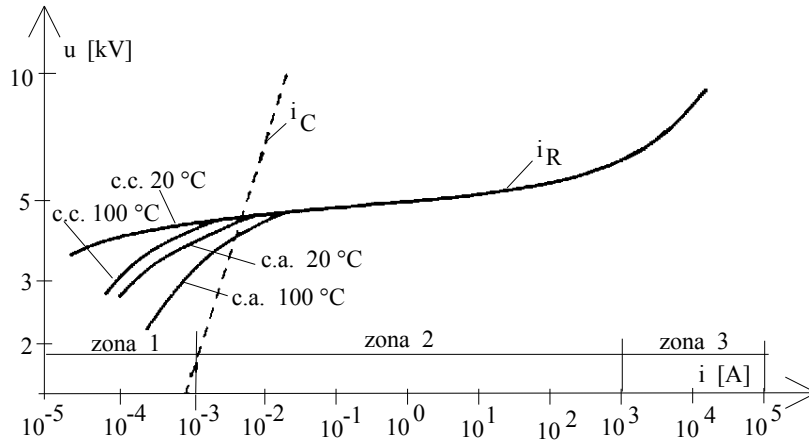
Caracteristica componentei rezistive este divizată în trei zone, Fig.10.15, și anume zonele corespunzătoare câmpului electric slab, mediu și puternic.

Mecanismul de conducție în zona câmpului electric slab se explică cu ajutorul barierelor de potențial ale straturilor intergranulare. Aceste bariere împiedică deplasarea electronilor de la o granulă de ZnO la alta.

Prin aplicarea unui câmp electric are loc un efect de diminuare a acestor bariere, iar electronii le străbat prin străpungere termică. Această posibilitate de conducție se numește "emisie Schottky" (ca în cazul diodelor semiconductoare, tranzistoarelor etc.) și determină trecerea unui curent redus prin disc. Temperaturile ridicate duc la creșterea energiei electronilor care pot străbate mai ușor barierele de potențial, Fig.10.15.

Dacă intensitatea câmpului electric pe straturile intergranulare atinge 100 kV/mm , zona 2 din Fig.10.15, electronii străbat barierele de potențial prin efect tunel și determină valori mai mari ale curentului prin disc.

Pentru intensități ridicate ale câmpului electric regiunile de barieră ale straturilor intergranulare influențează în mică măsură curentul prin disc. Valoarea intensității curentului prin disc este influențată, în acest caz, de rezistența R_z a granulelor de ZnO, care vor determina o variație aproximativ liniară a curentului, cu tensiunea aplicată.

**Fig.10.15**

Caracteristica volt-ampere pentru un disc din ZnO cu diametrul $\phi=80$ mm și înălțimea $h=20$ mm

Caracteristicile volt-ampere ale rezistoarelor neliniare din carbură de siliciu sunt descrise de relația (10.1). Utilizarea aceleiași relații, pentru descrierea componentei rezistive a curentului care trece prin discurile cu oxizi metalici, este limitată. Exponentul α depinde de regiunea de conducție și ia valori între 3 și 50.

Tab.10.2 Parametri electrici ai rezistoarelor pe bază de oxid de zinc

Compania	E_s [V/mm]	E_c/E_s	E_a/E_s
General Electric-SUA	105	1,95	2,48
Matsushita Electric-Japonia	52	2,19	3,78
Meidensha Electric-Japonia	150	1,57	2,28
Electrokeramika-Rusia	116	1,68	2,23

Pentru a asigura o pierdere de energie redusă pe varistorul cu oxizi metalici, atunci când acesta este sub tensiunea de serviciu, este necesar ca punctul de funcționare să se găsească în zona 1, Fig.10.15. În această zonă, valoarea critică a componentei rezistive a curentului este sub 1 mA, în timp ce componenta capacitivă a curentului este predominantă. Acest fapt arată că repartiția de tensiune, la tensiunea de serviciu, este capacitivă și deci influențată de capacitățile parazite.

Componenta rezistivă a curentului, în zona 1, depinde de straturile intergranulare, și deci, este influențată de materialele utilizate în construcția varistoarelor.

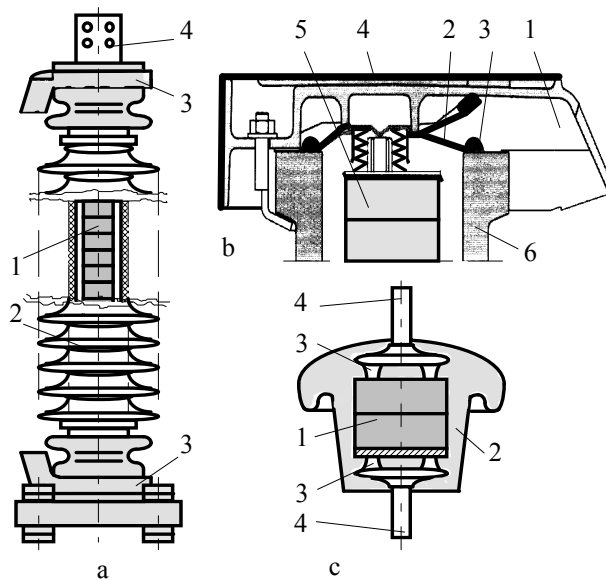
În Tab.10.2 sunt prezentate valorile unor parametri electrici care caracterizează rezistoarele pe bază de oxid de zinc, produse de unele firme constructoare de echipamente electrice.

Notațiile utilizate în Tab.10.2 au următoarele semnificații: E_s -gradientul de potențial corespunzător unei densități de curent de 10^{-8} A/mm², specifică funcționării descărcătorului sub tensiune de serviciu a instalației, E_c -gradientul de potențial pentru o densitate de curent de 0,2 A/mm², existentă în cazul limitării supratensiunilor de comutație, E_a -gradientul de potențial pentru o densitate de curent de 5 A/mm², înregistrată la funcționarea descărcătorului sub acțiunea supratensiunilor atmosferice. Datele din Tab.10.2 sunt obținute la încercarea capacității de trecere a descărcătoarelor cu oxizi metalici, efectuată cu impulsuri dreptunghiulare de curent cu durata de 2000 μ s.

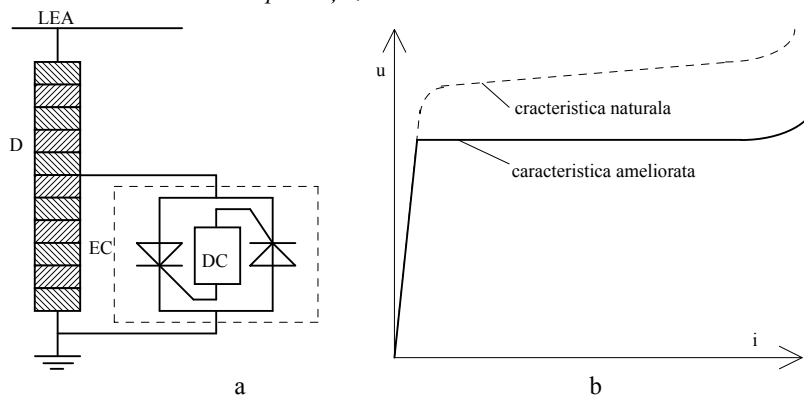
Valorile raportului E_c/E_s caracterizează nivelul posibil de limitare a supratensiunilor de comutație, iar cele corespunzătoare raportului E_a/E_s -nivelul posibil de limitare a supratensiunilor de origine atmosferică.

Un descărcător cu oxizi metalici este constituit numai din coloana rezistorului neliniar, montată într-o anvelopă de porțelan, cu rol de protecție. Coloana rezistorului neliniar este constituită din discuri înseriate, numărul acestora fiind proporțional cu tensiunea nominală. Capacitatea de descărcare poate fi crescută prin montarea de discuri în paralel, soluție care nu este unanim acceptată, deoarece reclamă măsuri suplimentare de uniformizare a distribuției curentului între rezistoare cu neliniaritate puternică, funcționând conectate în paralel.

În Fig.10.16a 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.

**Fig.10.16**

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

**Fig.10.17**

Ameliorarea caracteristicii volt-ampere a varistoarelor de ZnO

Construcția dispozitivului de etanșare și protecție este dată în Fig.10.16b. Placa 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. Placa 2 acționează, de asemenea, ca sistem de protecție la suprapresiune. Astfel, dacă în interiorul anvelopei 6 apare o suprapresiune, placa de etanșare își modifică poziția 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 amplasate după direcția liniei de fugă pe suprafața exterioară a izolatorului (Fig.10.16a). Fluxurile de gaz ionizat inițiază conturnarea acesteia, sesizată de protecția contra punerilor monofazate la pământ, care intervine; se evită astfel distrugerea prin explozie a descărcătorului. În construcțiile destinate instalațiilor de medie tensiune (Fig.10.16c), 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.

Tehnologiile FACTS permit reducerea riscului ambalării termice a descărcătorului, scurtcircuitând un număr de discuri prin intermediul unui echipament de comutație statică cu tiristoare (Fig.10.17a). Atunci când viteza de variație a tensiunii, dV/dt , atinge o valoare critică, discurile varistor sunt scurtcircuitate rapid, prin anclanșarea automată a echipamentului static EC, fapt care permite și o ameliorare a caracteristicii volt-amper, așa cum se arată în Fig.10.17b. Tehnologiile bazate pe varistoare ZnO permit realizarea unor descărcătoare ce pot fi amplasate în interiorul instalațiilor capsulate cu hexafluorură de sulf sau al cuvei transformatoarelor de putere, cu condiția de a exista compatibilitatea necesară între diferitele medii de funcționare și coloanele ZnO. Un loc aparte în utilizarea descărcătoarelor cu ZnO îl ocupă limitarea supratensiunilor care însoțesc funcționarea întrerupătoarelor cu comutație în vid.

Capitolul 9

BOBINE DE REACTANȚĂ ȘI BOBINE DE STINGERE

9.1. Bobine de reactanță

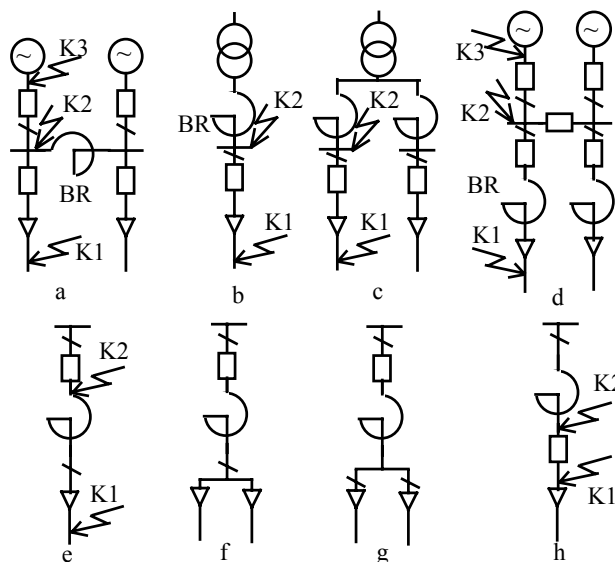
9.1.1. Generalități

Bobinele de reactanță care se montează în instalațiile de distribuție servesc, în primul rând, la limitarea curenților de scurtcircuit. Pe lângă aceasta, ele asigură menținerea tensiunii la barele centralei sau stației de transformare în caz de scurtcircuit în rețea, astfel încât în caz de scurtcircuit pe o derivație oarecare, tensiunea la bare și deci și la celelalte derivații care pleacă de la bare, să nu coboare excesiv și să rămână la un nivel care să asigure funcționarea mai departe, fără întreruperea consumatorilor.

Limitarea valorii curenților de scurtcircuit prin instalarea bobinelor de reactanță la barele colectoare ale centralelor electrice, în stațiile de transformare, precum și pe liniile care pleacă de la aceste bare, Fig.9.1, cu toate că complică și scumpește instalațiile, realizează condiții mai bune pentru funcționarea elementelor mai sensibile la avarii (cablurile-sub aspectul stabilității termice, întrerupătoarele-sub aspectul puterii de rupere), permițând alegerea unor echipamente pentru valori mai mici ale curenților de scurtcircuit.

Bobinele de reactanță pot fi de bare și de linie. Bobinele de reactanță de bare se conectează între secțiile de bare sau la secțiile de bare, Fig.9.1a,b,c, și limitează curentul de scurtcircuit al întregii instalații, iar bobinele de reactanță de linie se conectează în serie pe linie (în celule de plecare) și limitează curentul de scurtcircuit pe linie (linii) și mențin nivelul de tensiune necesar în amonte, Fig.9.1d,e,f,g,h. Bobinele de reactanță de bare când se montează între secțiile de bare (pe cupla longitudinală), Fig.9.1a, se mai numesc bobine de reactanță de secție și limitează curenții de scurtcircuit din rețea (scurtcircuit în K1), de pe barele colectoare (K2) și în circuitul generatorului (K3).

În regim normal de funcționare, dacă consumul pe secții este echilibrat, circulația de puteri între secții este redusă și astfel pierderile în bobinele de reactanță sunt mici.

**Fig.9.1**

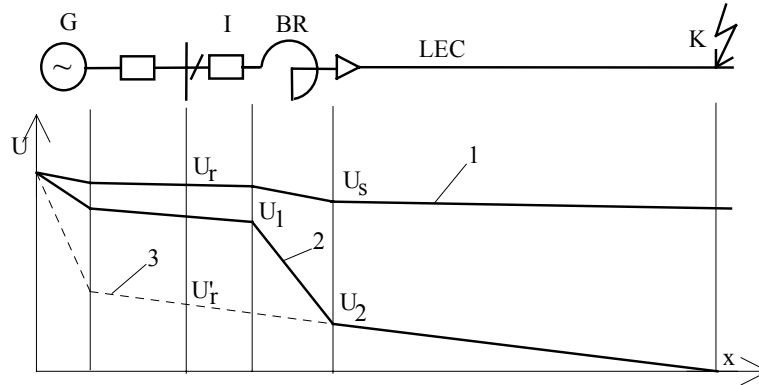
Scheme de conectare a bobinelor de reactanță

Dacă bobinele de reactanță de bare se montează în serie cu transformatoarele de putere, Fig.9.1b,c, se limitează curenții de scurtcircuit în rețea (K1) și pe bare (K2). Bobinele de reactanță de linie, Fig.9.1d,e,f,g,h, limitează numai curenții de scurtcircuit de pe linie (linii) și nu limitează curenții de scurtcircuit de pe bare și din circuitul generatorului.

9.1.2. Funcționarea bobinelor de reactanță

Considerăm o bobină de reactanță BR pe o plecare de pe barele unei stații, Fig.9.2, și prezentăm efectelor introducerii acesteia asupra căderilor de tensiune în diferite regimuri de funcționare.

În regim normal de funcționare este necesar ca pe bobina de reactanță să existe o cădere de tensiune de valori mici, curba 1, astfel încât, în aval de bobina BR, valorile tensiunii să se încadreze între limitele tensiunii de serviciu, U_s . În cazul unui scurtcircuit K, pe lângă limitarea intensității curentului de scurtcircuit la valori impuse de stabilitatea termică a liniei electrice în cablu (LEC) și de capacitatea de rupere nominală la scurtcircuit a întrerupătorului I, bobina trebuie să asigure o astfel de cădere de tensiune pe reactanța proprie, încât, tensiunea reziduală pe bare, U_r , să se încadreze între anumite limite, curba 2, pentru a nu perturba funcționarea celorlalte plecări în linie de pe aceleași bare.

**Fig.9.2**

Căderile de tensiune pe o plecare prevăzută cu bobină de reactanță

Variația prezumată a tensiunii (în lipsa bobinei de reactanță BR) la scurtcircuit este dată de curba 3.

Pentru îndeplinirea acestor funcții, bobinele de reactanță se construiesc fără miez feromagnetic, încadrându-se astfel în categoria elementelor liniare de circuit.

Principalii parametri ai unei bobine de reactanță sunt tensiunea nominală, U_n , intensitatea I_n a curentului nominal, reactanța nominală X_n și reactanța în valori relative, X_* .

Reactanța nominală este dată de relația:

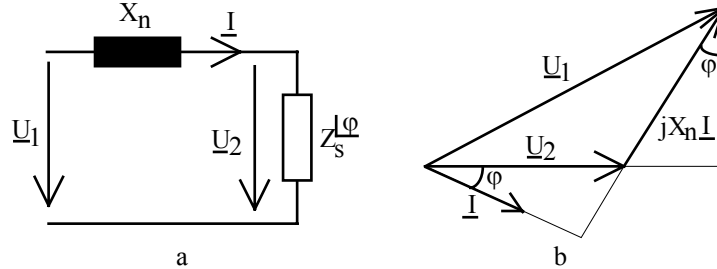
$$X_n = \omega L_n, \quad (9.1)$$

unde ω este pulsația corespunzătoare tensiunii industriale, iar L_n inductanța pe fază a bobinei.

Reactanța în mărimi relative se definește prin relația:

$$X_* = X_n \frac{\sqrt{3} I_n}{U_n} 100. \quad (9.2)$$

Urmărindu-se determinarea expresiei pierderii relative de tensiune, ΔU_* , pe o bobină de reactanță, în Fig.9.3a este reprezentată schema electrică echivalentă unui regim oarecare de funcționare, căruia i se poate atașa diagrama fazorială dată în Fig.9.3b. Pierdere relativă de tensiune pe bobina de reactanță, ΔU_* , se definește prin relația:

**Fig.9.3**

Schema electrică echivalentă și diagrama fazorială corespunzătoare funcționării unei bobine de reactanță

$$\Delta U_* = \frac{U_1 - U_2}{U_2} 100. \quad (9.3)$$

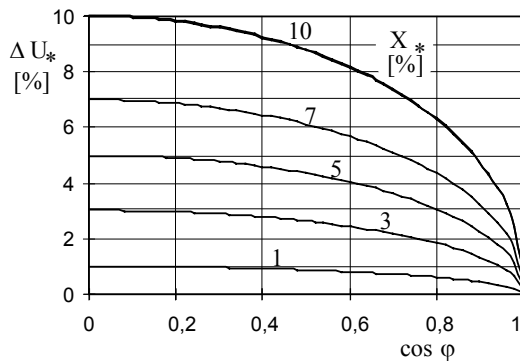
Corespunzător diagramei fazoriale din Fig.9.3b, pierderea relativă de tensiune se scrie sub forma:

$$\Delta U_* = \left(\sqrt{1 + 2 \frac{X_n I}{U_2} \sin \varphi + \frac{X_n^2 I^2}{U_n^2}} - 1 \right) 100. \quad (9.4)$$

În regim nominal de funcționare, pentru $I = I_n$, $U_2 = U_n / \sqrt{3}$, ținând seama de (9.2), expresia (9.4) devine de forma:

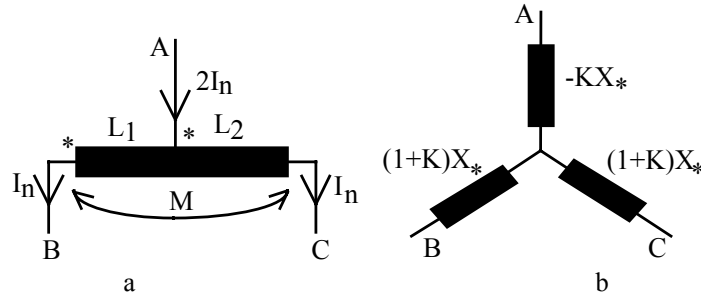
$$\Delta U_* = \left(\sqrt{1 + 2 \frac{X_*}{100} \sin \varphi + \frac{X_*^2}{100^2}} - 1 \right) 100. \quad (9.5)$$

Relația (9.5) evidențiază faptul că pierderea relativă de tensiune pe o bobină de reactanță depinde numai de reactanța în valori relative a bobinei și de argumentul φ al impedanței de sarcină Z_s , Fig.9.3a.

**Fig.9.4**

Pierderea relativă de tensiune

Potrivit relației (9.5), în Fig.9.4 sunt reprezentate curbele $\Delta U_*(\cos \varphi)$. În regim normal de funcționare ($\cos \varphi \approx 1$), pierderile de tensiune pe bobina de reactanță nu trebuie să depășească 1...1,5%, dacă instalația este prevăzută cu elemente de compensare a factorului de putere, în caz contrar acceptându-se pierderi de tensiune de 2...3%. În regim de scurtcircuit ($\cos \varphi \approx 0$), pierderea

**Fig.9.5***Bobina de reactanță cu priză mediană*

de tensiune devine aproximativ egală cu valoarea reactanței în mărimi relative, X_* , corespunzătoare bobinei.

Bobinele de reactanță cu priză mediană (jumelate) permit reducerea pierderilor de tensiune în regim normal de funcționare, păstrând proprietățile de limitare a curenților de scurtcircuit.

Bobina de reactanță cu priză mediană, Fig.9.5a, se caracterizează prin următorii parametri: tensiunea nominală, U_n , curentul nominal de intensitate $2I_n$, reactanța în mărimi relative, X_* , determinată prin raportarea la reactanța nominală a unei ramuri și coeficientul K de cuplaj magnetic între ramuri, având expresia:

$$K = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}}, \quad (9.6)$$

M fiind inductanța mutuală dintre ramuri, fiecare caracterizată prin inductanța proprie L_1 , respectiv L_2 .

Reactanța în mărimi relative, X_* , se calculează pentru o ramură cu ajutorul relației (9.2), în ipoteza că cealaltă ramură nu este parcursă de curent.

În Fig.9.5b este reprezentată grafic schema echivalentă în stea, corespunzătoare unei bobine de reactanță jumelate, reactanțele fiind exprimate în mărimi relative.

În funcționare, o bobină jumelată se poate afla în unul din următoarele regimuri: cu o singură ramură conectată, Fig.9.6a, în regim de trecere, Fig.9.6b, în regim longitudinal, Fig.9.6c, în regim combinat, Fig.9.6d. Reactanțele, exprimate în mărimi relative, X_{*1} , X_{*2} , X_{*3} , corespunzătoare primelor trei regimuri menționate, sunt date de relațiile:

$$X_{*1} = X_*, X_{*2} = 0,5(1-K)(I_1 - I_2)X_*, X_{*3} = 2(1+K)X_*, \quad (9.7)$$

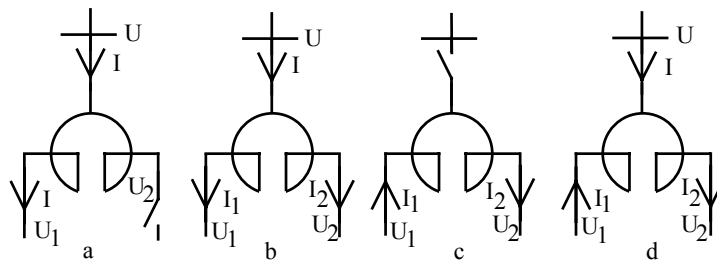


Fig. 9.6

Regimuri de funcționare a bobinei jumelate

unde X_* reprezintă reactanța în mărimi relative dată de relația (9.2), K fiind coeficientul de cuplaj magnetic între ramuri, având expresia (9.6).

Conform relațiilor (9.7), pierderea relativă de tensiune pe o bobină de reactanță jumelată este cu atât mai mică, în regim normal de funcționare, cu cât coeficientul de cuplaj K are valori mai mari. Pierderea de tensiune are valori minime când funcționează în regim de trecere, Fig. 9.6b.

Creșterea valorilor coeficientului de cuplaj magnetic peste anumite limite nu este recomandată, deoarece în regim de scurtcircuit tensiunea U_2 , Fig. 9.6a, rezultă de valori mari. În aceste condiții, coeficientul de cuplaj magnetic are valorile uzuale $K=0,3...0,5$ încât, pentru tensiunea obținută prin inducție la capătul liber a bobinei, în cazul unui scurtcircuit la celălalt capăt, rezultă valori care nu depășesc $1,5U_n$, U_n fiind tensiunea nominală a bobinei. În regim de scurtcircuit este avantajos ca cele două semibobine să fie parcurse de curenți în același sens, Fig. 9.6d sau una din ramuri să funcționeze în gol, Fig. 9.6a.

9.1.3. Variante constructive de bobine de reactanță

Bobinele de reactanță se realizează obișnuit în două variante constructive diferite, în funcție de locul de amplasare (în interior sau în exterior).

Pentru tensiuni nominale până la 35 kV, bobinele de reactanță funcționează în instalații de interior și se construiesc de tip uscat, înfășurările fiind rigidizate în cadre de beton. Bobinele cu tensiuni nominale mai mari de 35 kV sunt de exterior și funcționează în cuve cu ulei mineral.

Condițiile principale pe care trebuie să le îndeplinească bobinele de reactanță sunt:

-stabilitatea termică și electrodinamică, la acțiunea curenților de scurtcircuit, să fie ridicată;

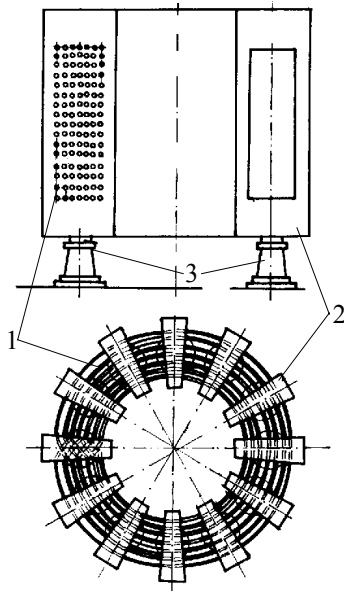


Fig. 9.7
Bobină de reactanță în cadre de beton

bumbac, între spire lăsându-se spații libere pentru ventilație naturală.

Înfășurarea bobinelor având curenți nominali de intensitate mare se realizează cu mai multe conductoare în paralel. La aceste variante constructive se execută transpunerea conductoarelor, Fig. 9.8, evitându-se astfel curenții de circulație între spirele bobinelor conectate în paralel.

Rigidizarea înfășurărilor se obține cu ajutorul cadrelor de beton 2, Fig. 9.7, care se sprijină pe izolatoarele suport 3.

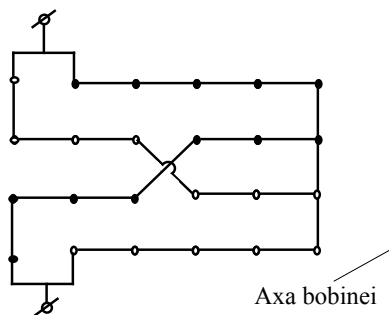


Fig. 9.8
Transpunerea conductoarelor bobinei de reactanță

-căderile de tensiune în regim normal de funcționare să nu depășească (1...3)% din tensiunea nominală;

-pierderile de putere în bobină să fie cuprinse între (0,2...0,5)% din puterea care circulă prin bobină;

-să prezinte o izolație corespunzătoare între spire și față de pământ astfel încât supratensiunile să nu producă străpungeri sau puneri la pământ a elementelor bobinei.

Se construiesc bobine de reactanță de tipul BR, cu rigidizarea înfășurărilor în cadre de beton, având tensiunile nominale de 7,2 kV 12 și 17,5 kV, intensitatea curentului nominal cuprinsă între 75 și 2x2000 A, pentru reactanțe relative de 3%...7%, 10%, 2x8%, 2x10%.

În Fig. 9.7 se prezintă o secțiune printr-o bobină de reactanță tip BR cu rigidizarea înfășurărilor în cadre de beton. Înfășurarea 1 a acestuia se execută din conductoare flexibile multifilare, izolate cu hârtie și țesătură din

Acestea asigură în funcție de modul de dispunere a bobinelor monofazate, izolația dintre faze sau dintre faze și pământ.

Corespunzător celor trei faze, bobinele monofazate pot fi dispuse pe verticală, respectiv pe orizontală.

Bobinele de reactanță cu rigidizare în cadre de beton se obțin prin tehnologii relativ costisitoare de prelucrare și uscare, construcția rezultând cu dimensiuni de gabarit și greutate mari.

O reducere considerabilă a greutateii și gabaritului precum și o scădere a consumului de cupru se obțin prin înlocuirea rigidizării în beton cu rigidizarea în rășini. Astfel, s-au realizat bobine de reactanță de tip modul pentru tensiunea nominală de 10 kV, având înfășurările executate din folie de cupru rulată împreună cu o izolație de hârtie lăcuită sau din țesătură de sticlă și turnate în rășini sintetice. Consolidarea mecanică a întregii construcții se face prin turnare în rășină, după ce în prealabil atât la exteriorul cât și la interiorul bobinei se rulează mai multe starturi de pânză de sticlă.

Bobinele de reactanță având tensiuni nominale mai mari de 35 kV funcționează în cuve cu ulei, deoarece aceste echipamente se amplasează de obicei în instalații exterioare. Datorită calităților electroizolante ale uleiului, distanțele de izolație pot fi micșorate, acceptându-se în același timp creșterea densității de curent prin conductorul de bobinaj, încât întreaga construcție rezultă cu dimensiuni de gabarit reduse.

Elementele constructive principale ale unei bobine de reactanță funcționând în ulei sunt date în Fig.9.9, unde 1 reprezintă cuva metalică, 2-înfășurarea bobinei, 3-ecranul feromagnetic, 4-izolatoarele de trecere, 5-fluxul magnetic de dispersie, ce se închide prin pereții cuvei.

Utilizarea oțelului pentru confecționarea cuvei impune limitarea fluxului magnetic de dispersie ce se închide prin pereții acesteia, care altfel ar conduce la încălzirea excesivă a întregii construcții. O soluție tehnică aplicată în acest sens constă în montarea în cuvă la exteriorul bobinei a ecranului cilindric

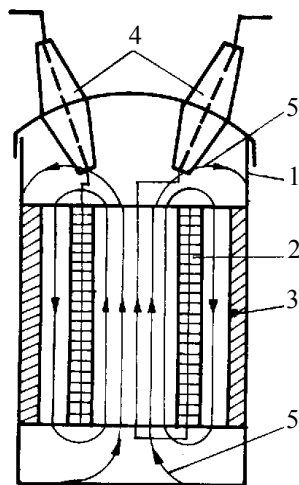


Fig.9.9

Bobină de reactanță în ulei

3, realizat din cupru sau aluminiu, care funcționând ca o înfășurare în scurtcircuit, conduce la micșorarea fluxului magnetic total produs de bobină. În calculul acesteia este necesar să fie considerată influența ecranului, deoarece prezența lui conduce la obținerea unor valori mai mici pentru reactanța bobinei.

O altă posibilitate de limitare a fluxului magnetic ce se închide prin pereții cuvei constă în șuntarea magnetică a acestora cu ajutorul unor pachete de tole, amplasate din loc în loc în interiorul cuvei, pe suprafața acesteia. Fixarea mecanică a pachetelor de tole feromagnetice trebuie să reziste în bune condiții acțiunii forțelor electrodinamice de atracție produse de bobină, atunci când aceasta este parcursă de curenți de scurtcircuit.

9.2. Bobine de stingere

9.2.1. Funcționarea bobinelor de stingere

Bobinele de stingere sunt echipamente utilizate pentru tratarea neutrului în rețelele electrice, având rolul de a compensa capacitatea echivalentă a liniilor, în cazul punerilor accidentale la pământ, facilitând astfel stingerea arcului electric la locul defectului.

În instalațiile electrice care au neutrul legat direct la pământ, atingerea conductoarelor fazelor cu pământul reprezintă scurtcircuite.

Fenomenele care însoțesc punerile la pământ în instalații cu neutrul izolat, cum ar fi producerea supratensiunilor prin stingerea și reaprinderea arcului electric de punere la pământ, supraîncărcarea monofazată a instalației etc. se pot ameliora prin tratarea neutrului cu o bobină de reactanță numită, în acest caz, bobină de stingere. Aceasta constă în conectarea, între neutrul instalației și pământ, a unei bobine de stingere, având inductanța proprie L , Fig.9.10a.

În cazul unei puneri monofazate la pământ, admitând ipoteza simplificatoare că impedanța prin care aceasta se produce este nulă, tensiunile fazelor sănătoase față de pământ, $\underline{U}_{c1}$, $\underline{U}_{c2}$, devin egale cu tensiunile de linie, iar tensiunea neutrului față de pământ devine $\underline{U}_0$. Diagrama fazorială corespunzătoare acestui regim de funcționare este dată în Fig.9.10b.

În aceste condiții, la locul de defect circulă un curent de intensitate $\underline{I}_k$ dat de relația:

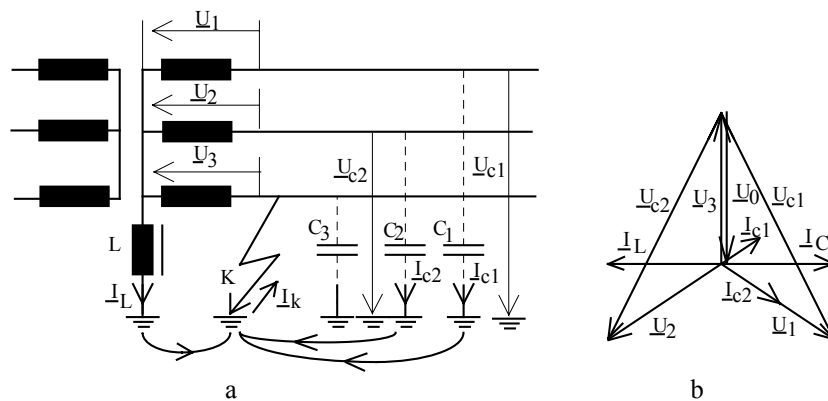


Fig.9.10

Conectarea bobinei de stingere

$$\underline{I}_k = \underline{I}_L + \underline{I}_{c1} + \underline{I}_{c2}, \quad (9.8)$$

unde, $\underline{I}_L$ este intensitatea curentului prin bobina de stingere, iar $\underline{I}_{c1}$, $\underline{I}_{c2}$ intensitățile curenților capacitivi ai rețelei.

Potrivit Fig.9.10, se poate scrie:

$$\underline{I}_L = \frac{U_0}{\omega L}, \quad \underline{I}_{c1} = \underline{I}_{c2} = \sqrt{3}U_0\omega C, \quad (9.9)$$

unde s-a notat $U_0=U_1=U_2=U_3$, $C_1=C_2=C_3$.

Ținând seama de relațiile (9.9) și de diagrama fazorială dată în Fig.9.10b, expresia (9.8) a intensității curentului la locul de defect se poate scrie sub forma:

$$\underline{I}_k = \underline{U}_0 \left(\frac{1}{j\omega L} + 3j\omega C \right), \quad (9.10)$$

de unde rezultă că, dacă este satisfăcută relația:

$$L = \frac{1}{3\omega^2 C}, \quad (9.11)$$

intensitatea I_k a curentului de defect se anulează, iar arcul electric la locul de defect se stinge de la sine.

Condiția de acord (9.11) este îndeplinită pentru o anumită valoare a capacității C , deci pentru o structură dată a rețelei. Păstrarea acordului atunci când structura rețelei se modifică este posibilă prin modificarea valorilor inductanței L a bobinei de stingere.

Pentru evitarea rezonanței de tensiuni, dimensionarea bobinelor de stingere se face astfel încât regimul de funcționare să rezulte inductiv, intensitatea I_L a curentului prin bobină fiind mai mare cu 5...15% decât intensitatea curentului capacitiv I_C .

Operația de reglare, efectuată în vederea compensării curentului capacitiv total de intensitate I_C , se numește acordarea bobinei. În legătură cu aceasta se definesc gradul de acord, k și de dezacord δ exprimate prin relațiile:

$$k = \frac{I_L}{I_C}, \quad \delta = 1 - k. \quad (9.12)$$

Avantajele tratării neutrlui prin bobină de stingere sunt:

-stingerea rapidă a arcului electric de punere la pământ și prevenirea deteriorării izolației și a conductoarelor prin efect termic;

- reducerea curentului la locul de punere la pământ la câteva procente din valoarea curentului capacitiv al rețelei;
 - tensiuni mai reduse de atingere și de pas la locul defectului;
 - continuitatea în alimentarea consumatorilor atât la defecte monofazate pasagere, cât și la defecte persistente;
 - influențe neînsemnate asupra liniilor de telecomunicații.
- Drept dezavantaje ale funcționării cu neutrul legat la pământ prin bobină de stingere, se consemnează:
- supracurenți și supratensiuni de ferorezonanță de $3U_f$ (U_f tensiunea de fază a rețelei);
 - tensiuni mari pe fazele sănătoase în cazul punerii la pământ;
 - transformarea unui defect monofazat în defect polifazat în peste 50% din cazuri în timp de câteva minute;
 - costul crescut al izolației corespunzător tensiunilor mari care apar în rețele;
 - în cazul rețelelor în cabluri cu izolație din polietilenă sau PVC, existența unor curenți reziduali mari din cauza pierderilor active mari în aceste izolații;
 - dificultăți în asigurarea unui acord permanent al bobinei de stingere;
 - greutăți în identificarea locului defectului.

9.2.2. Tipuri constructive

În regim normal de funcționare al rețelei, o bobină de stingere este supusă unor tensiuni de valori relativ reduse, provenind din eventuala funcționare nesimetrică a instalației.

În cazul unei puneri nete la pământ, acestea i se aplică tensiunea de fază a instalației, care se consideră astfel drept tensiune nominală pentru bobina de stingere.

Din punct de vedere constructiv, o bobină de stingere este asemănătoare unui transformator monofazat, principalele părți constructive fiind miezul feromagnetic, înfășurările, elementele de reglare a inductanței și cuva din oțel în care bobina funcționează scufundată în ulei de transformator.

Reglarea inductanței bobinelor de stingere se poate efectua în mod discontinuu, prin modificarea numărului de spire sau continuu, fie prin intermediul unui întrefier reglabil, fie utilizând premagnetizarea în curent continuu.

Miezul feromagnetic al bobinelor de stingere se execută din tablă de transformator laminată la rece în câmp magnetic, având grosimea de 0,35...0,4 mm, tolele fiind izolate cu oxizi ceramici.

Bobinele cu reglaj discontinuu au miezul feromagnetic prevăzut cu întrefier de valoare fixă, prezența acestuia fiind necesară pentru liniarizarea caracteristicii volt-ampere a bobinei și pentru realizarea acesteia la datele nominale prescrise.

Neglijând rezistența înfășurării, tensiunea nominală poate fi aproximată cu tensiunea electromotoare indusă:

$$U_n \cong \frac{N\omega}{\sqrt{2}} S_{fe} B_{fe}; \quad (9.13)$$

dacă se neglijează căderile de tensiune magnetică pe porțiunile feromagnetice ale miezului, solenația nominală, NI_n , se poate calcula cu relația:

$$NI_n = \frac{1}{\sqrt{2}} \sum_{k=1}^n H_{\delta k} \delta_k, \quad (9.14)$$

unde: N este numărul de spire, ω -pulsatia corespunzătoare frecvenței industriale, S_{fe} -secțiunea miezului feromagnetic, B_{fe} -inducția în miez, $H_{\delta k}$ -intensitatea câmpului magnetic în întrefier, δ_k -lățimea unui întrefier, n -numărul de întrefieruri cu care este prevăzut miezul feromagnetic.

În aceste condiții, puterea reactivă nominală, Q_n , corespunzătoare bobinei, se poate aproxima cu relația:

$$Q_n \cong I_n U_n = \pi f S_{fe} B_{fe} \sum_{k=1}^n H_{\delta k} \delta_k. \quad (9.15)$$

Miezul feromagnetic al bobinelor de stingere se execută fie asemănător cu cel al transformatoarelor (cu coloane și juguri), fie în manta.

Inductanța L a bobinei este dată de relația:

$$L = \frac{N^2}{\mathfrak{R}}, \quad (9.16)$$

N fiind numărul de spire, iar $\mathfrak{R}$ -reluctanța totală a circuitului magnetic, având la rândul ei, expresia:

$$\mathfrak{R} = \mathfrak{R}_{\delta} + \mathfrak{R}_{\Sigma}, \quad (9.17)$$

unde cu $\mathfrak{R}_{\delta}$ s-a notat reluctanța întrefierului reglabil δ , $\mathfrak{R}_{\Sigma}$ reprezentând reluctanța echivalentă a miezului feromagnetic și a întrefierurilor parazite.

Deoarece se poate scrie:

$$\mathfrak{R}_\delta = \frac{\delta}{\mu_0 S_\delta}, \quad (9.18)$$

pentru inductanța L rezultă expresia finală:

$$L = \frac{\mu_0 S_\delta N^2}{\delta + \mu_0 S_\delta \mathfrak{R}_\Sigma}, \quad (9.19)$$

unde δ este întrefierul de lucru reglabil, S_δ -suprafața transversală a coloanei miezului, iar $\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$ H/m permeabilitatea magnetică a vidului.

Relația (9.19) evidențiază posibilitățile de reglare a inductanței, constând în modificarea numărului N de spire, a valorii întrefierului sau, simultan, a celor două mărimi.

În Fig.9.11 este reprezentată grafic dependența $L(\delta)$ având expresia (9.19), drept parametru considerându-se numărul de spire N.

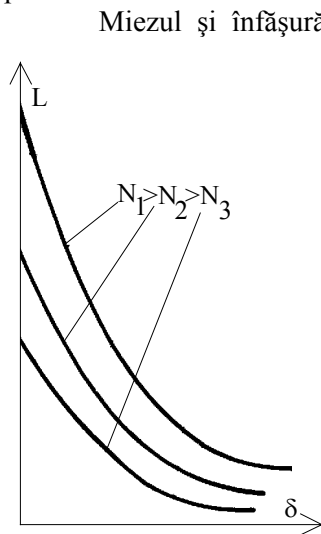
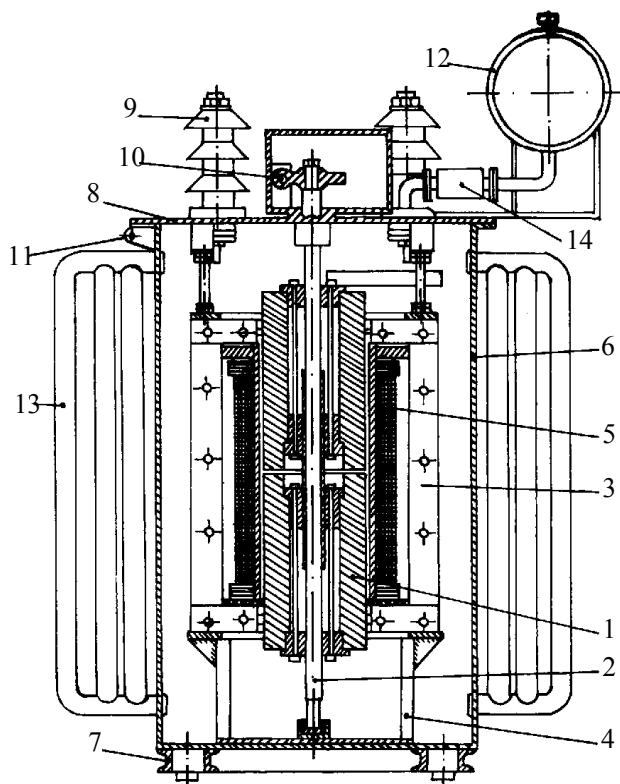


Fig.9.11

Dependența inductanței bobinei de stingere de întrefierul de lucru

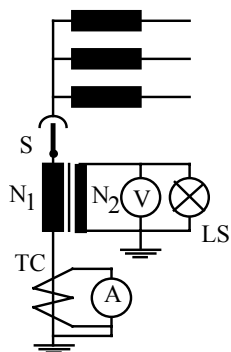
Miezul și înfășurările bobinelor de stingere se amplasează în cuve, având toate accesoriile unei cuve de transformator. Schița conținând detaliile constructive ale unei bobine de stingere cu miez feromagnetic în manta este dată în Fig.9.12, unde notațiile au următoarele semnificații: 1-miez mobil, 2-ax, 3-jug lateral, 4-schelă, 5-bobinaj, 6-cuvă, 7-cărucior, 8-capac, 9-izolator de înaltă tensiune, 10-angrenaj, 11-ureche de ridicare, 12-conservator, 13-radiator, 15-releu de gaze.

Bobinele de stingere se conectează în neutrul transformatoarelor sau al generatoarelor cu neutru accesibil. Schema de conexiuni este dată în Fig.9.13, unde s-a notat: N_1 -înfășurarea bobinei de stingere, N_2 -înfășurare pentru alimentarea circuitelor de semnalizare (100 V), TC-transformator de curent, LS-lampă de semnalizare, S-separator de conectare.

**Fig.9.12**

Bobină de stingere cu miez feromagnetic în manta

În instalațiile cu neutrul inaccesibil, bobinele de stingere se racordează prin intermediul unui transformator pentru crearea neutrului artificial.

**Fig.9.13**

Schema de conexiuni a bobinei de stingere

Pentru tratarea neutrului în rețelele de medie tensiune, în țară se fabrică bobine de stingere pentru următoarele tensiuni nominale: $6/\sqrt{3}$ kV-în două variante, pentru curenți de funcționare cu intensitatea între 10...50 A, respectiv între 10...120 A; $10/\sqrt{3}$ kV-pentru curenți de 20...165 A; $20/\sqrt{3}$ kV-în două variante, 10...50 A, respectiv 10...87 A; $35/\sqrt{3}$ kV-pentru curenți de funcționare cu intensitatea cuprinsă în intervalul 20...100 A.

Toate aceste bobine sunt de tipul cu reglaj continuu, având elementele constructive precizate în Fig.9.12.