



# Aparate Electrice Speciale



# Cuprins

- Surse Modulare de Curent și Tensiune
- Aparate Electrice Speciale Pentru Reglajul Tensiunii
- Convertoare de Energie Electrică
- Aparate cu Contacte Metalo – Lichide
- Aparate Pentru Stingerea Câmpului Magnetic și cu Comutație Fără Arc Electric
- Aparate Electrice Pirotehnice
- Relee Digitale



# Aparate Electrice Speciale

Surse modulare de curent și  
tensiune

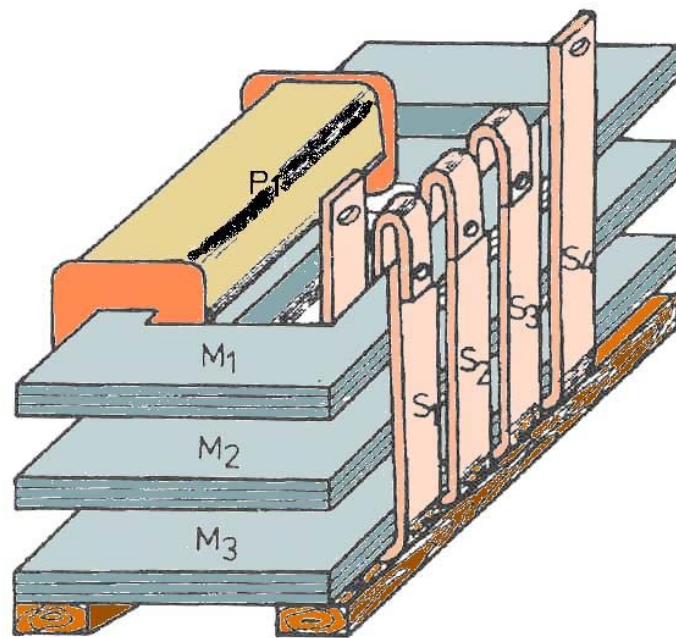


## Considerații generale

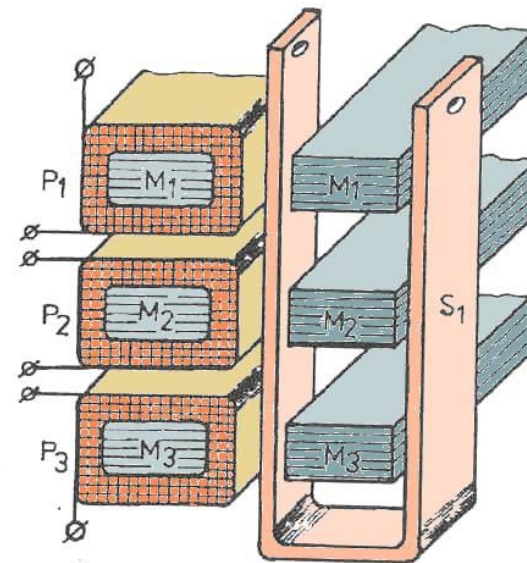
Având în vedere multitudinea aparatelor de comutație și în special numărul de întrerupătoare automate de joasă tensiune, se impune o verificare a acestora, atât în unități fixe (ateliere de reparații, standuri de încercare) dar și la locul de montaj (unități de producție, stații electrice, posturi de transformare etc.).

Există puține tipuri de surse de curent mobile sau transportabile cu performanțe acceptabile încercărilor. Trusele transportabile cunoscute nu depășesc puteri de 1kVA (pentru 1kA) când sunt formate dintr-o singură unitate (transformator tensiune-curent alimentat prin intermediul unui autotransformator reglabil) și nu trec în general de 5kVA (peste 2...4kA) când sunt divizate în trei unități transportabile: autotransformator, transformator tensiune-curent și blocul cu aparatele de măsură (pentru curent, tensiune și eventual timp) asociat eventual cu trusa de tensiune.

Una din primele variante ale unei astfel de surse de curent este prezentată principal în Fig.1.1



(a)



(b)

**Fig.1.1** Sursă modulară de curent :

a) vedere generală,

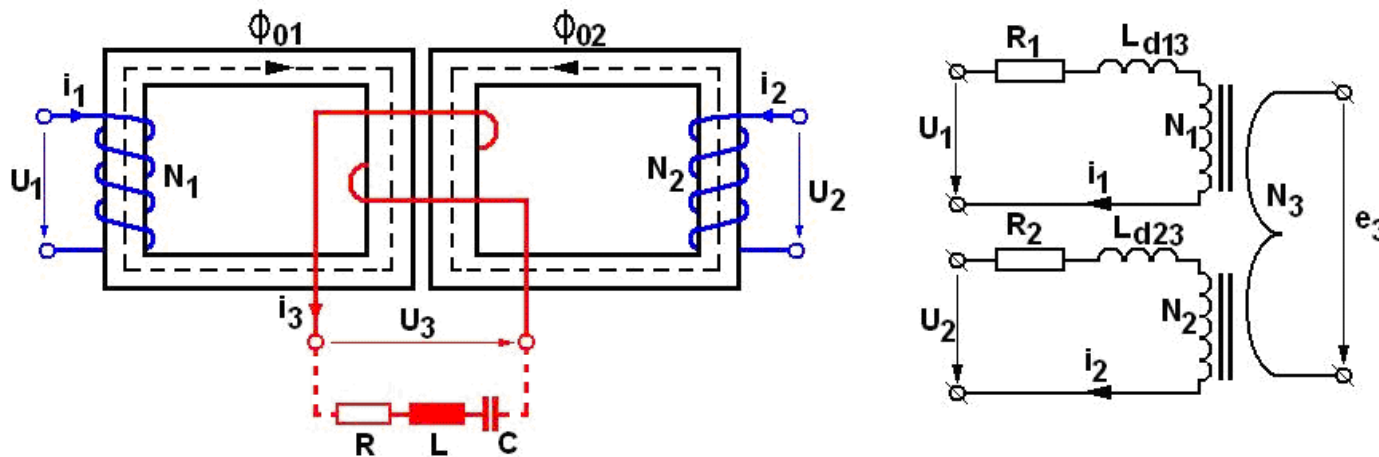
b) secțiune transversală;

$M_1, M_2, M_3$  – module;  $P_1, P_2, P_3$  – primare;  $S_1, S_2, S_3$  – secundare

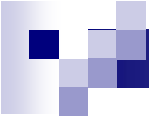
## Scheme electrice echivalente

În cele ce urmează se vor face o serie de considerații și analize privind ecuațiile funcționale ale surselor de curent sau de tensiune și schemele lor echivalente, având în vedere următoarele ipoteze:

- pierderile în fierul miezului magnetic sunt considerate foarte mici, neglijabile;
- miezurile sunt nesaturate, funcționarea având loc pe porțiunea liniară a caracteristicii  $B(H)$  a miezului magnetic;
- se consideră că modulele au circuitele magnetice identice;
- în scrierea ecuațiilor se utilizează convenția de la receptor pentru bobinele primare și cea de la generator pentru secundare (secundarul comun).



**Fig.1.2** Schema de principiu a sursei cu două module feromagnetice cu primare independente și secundar unic

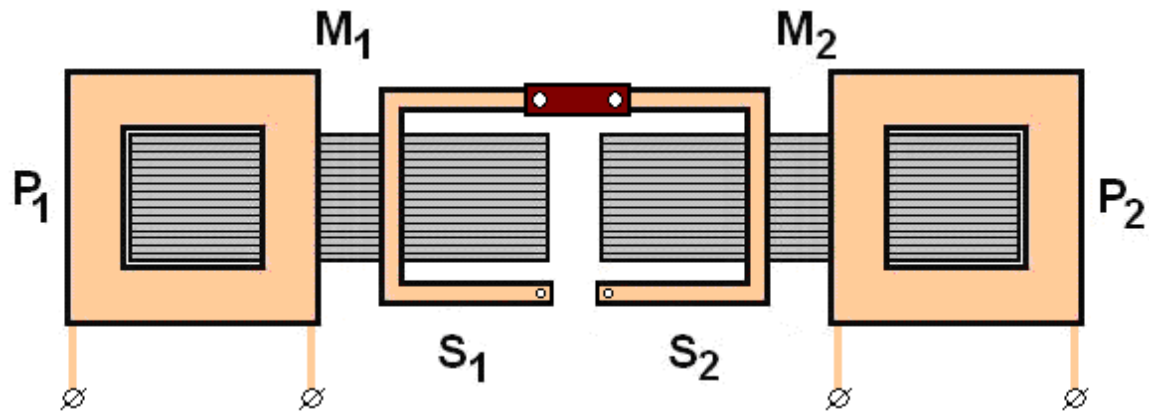

$$u_1 = R_1 i_1 + L_{d13} \frac{di_1}{dt} + N_1 \frac{d\Phi_{01}}{dt}, \quad 1.1$$

$$u_2 = R_2 i_2 + L_{d23} \frac{di_2}{dt} + N_2 \frac{d\Phi_{02}}{dt}, \quad 1.2$$

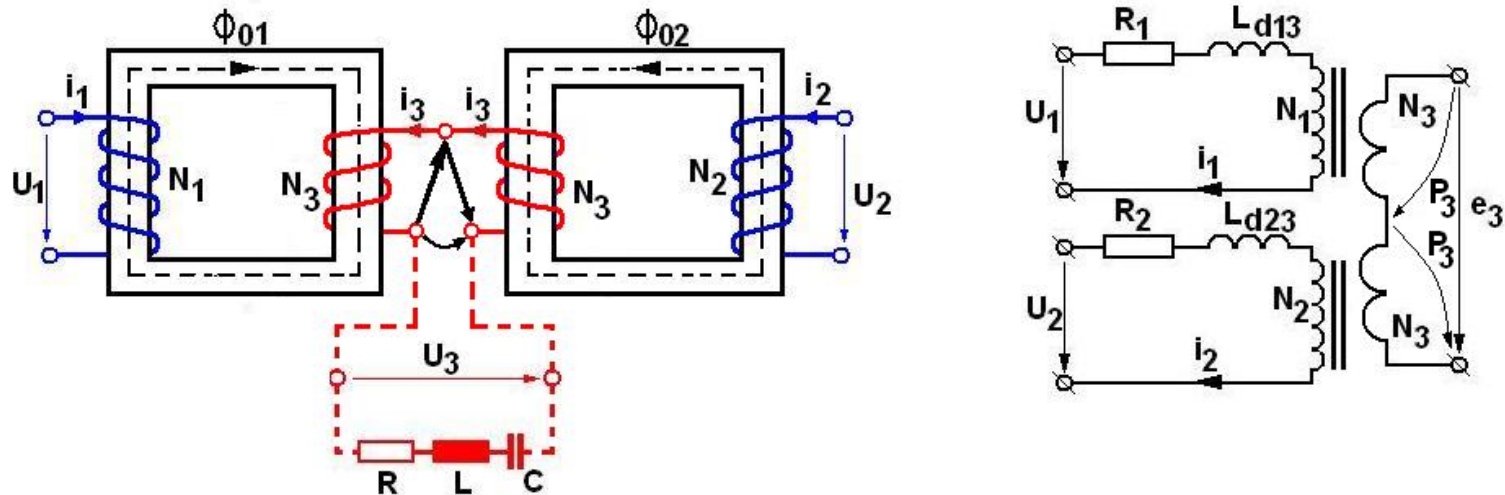
$$-e_3 = N_3 \left( \frac{d\Phi_{01}}{dt} \pm \frac{d\Phi_{02}}{dt} \right), \quad 1.3$$

În cazul construcției date, pentru claritate considerând  $N_3 = 1$ , Fig.1.3, se observă că situația este echivalentă cazului a două transformatoare la care primarele P1 și P2 sunt alimentate de la aceeași sursă sau de la surse diferite de tensiune, iar secundarele (monospiră) sunt înseriate.

În cazul în care  $N_3 \neq 1$  se poate remarca înserierea spiră cu spiră, în alternanță, a secundarelor. Analizând acest montaj se constată că, funcțional, se obține același rezultat dacă secundarele sunt înseriate conform Fig.1.4.



**Fig.1.3** Schema de principiu a sursei modulare cu secundar unic monospiră



**Fig.1.4** Schema de principiu pentru module independente cu primare separate și secundarele înseriate





Sistemul de ecuații în acest caz, cu circuitul secundar în gol, este următorul:

$$u_1 = R_1 i_1 + L_{d13} \frac{di_1}{dt} + N_1 \frac{d\Phi_{01}}{dt},$$

$$u_2 = R_2 i_2 + L_{d23} \frac{di_2}{dt} + N_2 \frac{d\Phi_{02}}{dt},$$


$$-e_3^1 = N_3 \frac{d\Phi_{01}}{dt}$$

$$-e_3^2 = N_3 \frac{d\Phi_{02}}{dt},$$

$$e_3 = e_3^1 \pm e_3^2 = -N_3 \frac{d\Phi_{01}}{dt} \mp N_3 \frac{d\Phi_{02}}{dt},$$

sau,

$$-e_3 = N_3 \frac{d\Phi_{01}}{dt} \pm N_3 \frac{d\Phi_{02}}{dt}$$



În cazul în care în secundar există o sarcină cu parametrii R, L, C, conform Fig.1.2 se obține sistemul de ecuații:

$$u_1 = R_1 i_1 + L_{d13} \frac{di_1}{dt} + N_1 \frac{d\Phi_{01}}{dt},$$

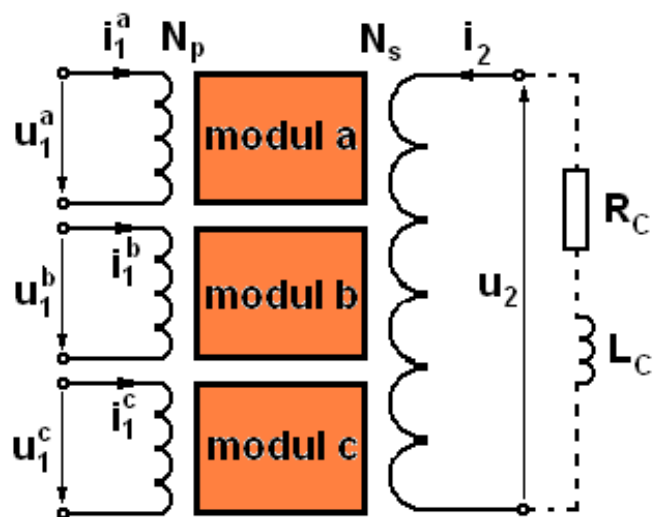
$$u_2 = R_2 i_2 + L_{d23} \frac{di_2}{dt} + N_2 \frac{d\Phi_{02}}{dt},$$

$$u_3 = R_3 i_3 + (L_{d31} + L_{d32}) \frac{di_3}{dt} + N_3 \left( \frac{d\Phi_{01}}{dt} - \frac{d\Phi_{02}}{dt} \right),$$

$$u_3 = R i_3 + L \frac{di_3}{dt} + \frac{1}{C} \int i_3 dt$$

## Modelarea surselor modulare

S-a considerat o sursă formată din trei module feromagnetice, Fig.1.11.



Se poate scrie următorul sistem general de ecuații:

$$u_1^a = R_p i_1^a + L_{d12}^a \frac{di_1^a}{dt} + N_p \frac{d\Phi_0^a}{dt},$$

$$u_1^b = R_p i_1^b + L_{d12}^b \frac{di_1^b}{dt} + N_p \frac{d\Phi_0^b}{dt},$$

$$u_1^c = R_p i_1^c + L_{d12}^c \frac{di_1^c}{dt} + N_p \frac{d\Phi_0^c}{dt},$$

$$-u_2 = R_s i_2 + L_{d21}^a \frac{di_1^a}{dt} + L_{d21}^b \frac{di_1^b}{dt} + L_{d21}^c \frac{di_1^c}{dt} + N_s \left( \frac{d\Phi_0^a}{dt} + \frac{d\Phi_0^b}{dt} + \frac{d\Phi_0^c}{dt} \right)$$

$$u_2 = R_c i_2 + L_c \frac{di_2}{dt}$$

$$N_p i_1^a + N_s i_2 = N_p i_0^a$$

$$N_p i_1^b + N_s i_2 = N_p i_0^b$$

$$N_p i_1^c + N_s i_2 = N_p i_0^c$$

**Fig.1.11** Schema principală a sursei cu trei module feromagnetice

Semnalele fiind sinusoidale se poate avea în vedere regimul cvasistaționar, miezurile fiind departe de saturație (în zona liniară), sistemul de ecuații capătă forma:

$$U_1^a = R_p I_1^a + j X_{d12}^a I_1^a - E_{mp}^a$$

$$U_1^b = R_p I_1^b + j X_{d12}^b I_1^b - E_{mp}^b$$

$$U_1^c = R_p I_1^c + j X_{d12}^c I_1^c - E_{mp}^c$$

$$-\underline{U}_2 = R_s \underline{I}_2 + j \left( X_{d12}^a + X_{d12}^b + X_{d12}^c \right) \underline{I}_2 - \left( \underline{E}_{ms}^a + \underline{E}_{ms}^b + \underline{E}_{ms}^c \right)$$

$$\underline{U}_2 = \underline{Z}_c \underline{I}_2 = R_c \underline{I}_2 + j X_c \underline{I}_2$$

$$N_p \underline{I}_1^a + N_s \underline{I}_2 = N_p \underline{I}_0^a$$

$$N_p \underline{I}_1^b + N_s \underline{I}_2 = N_p \underline{I}_0^b$$

$$N_p \underline{I}_1^c + N_s \underline{I}_2 = N_p \underline{I}_0^c$$

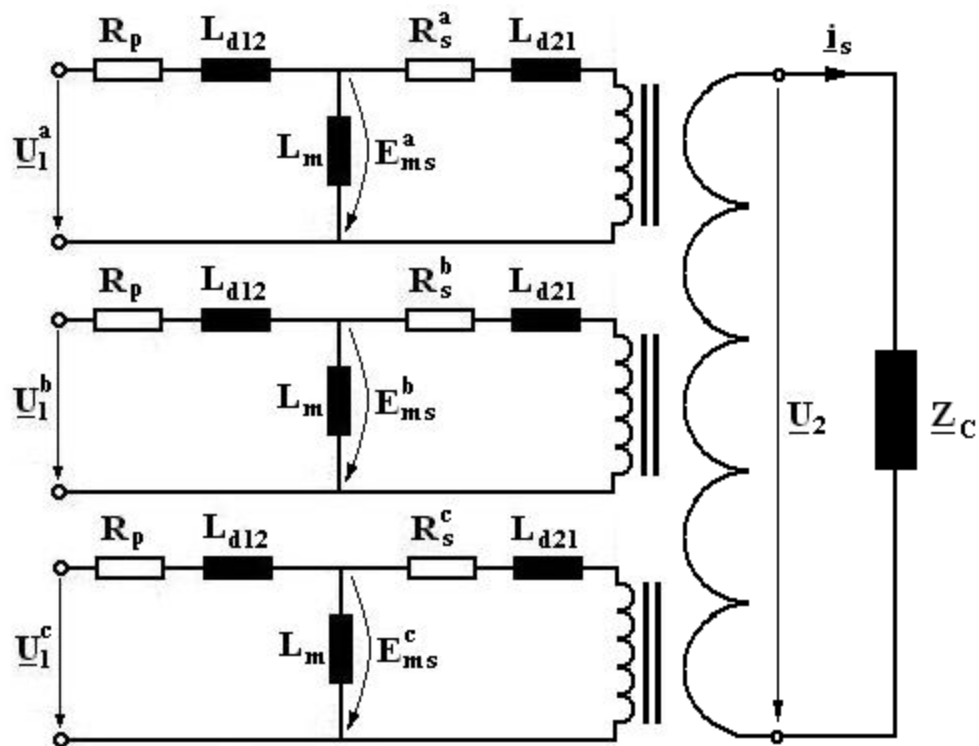
unde:

$$X_{d12}^i = w L_{d12}^i$$

$$\underline{E}_{mp}^i = j N_p \underline{\Phi}_0^i$$

$$\underline{E}_{ms}^i = j N_s \underline{\Phi}_0^i$$

Schema electrică echivalentă este reprezentată în Fig.1.12 și este construită pe baza schemei echivalente în T a transformatorului monofazat, rezultând o schemă în 3T.



**Fig.1.12** Schema electrică echivalentă a sursei cu trei module



## Reglarea mărimilor în secundar

Se au în vedere următoarele ipoteze:

- sunt doar trei module, identice electric și magnetic;
- miezurile magnetice se află departe de saturație;
- regimul de lucru este cvasistaționar cu semnale sinusoidale, liniar.

Ca și în cazul altor tipuri de surse, reglajul mărimilor se poate face în două moduri:

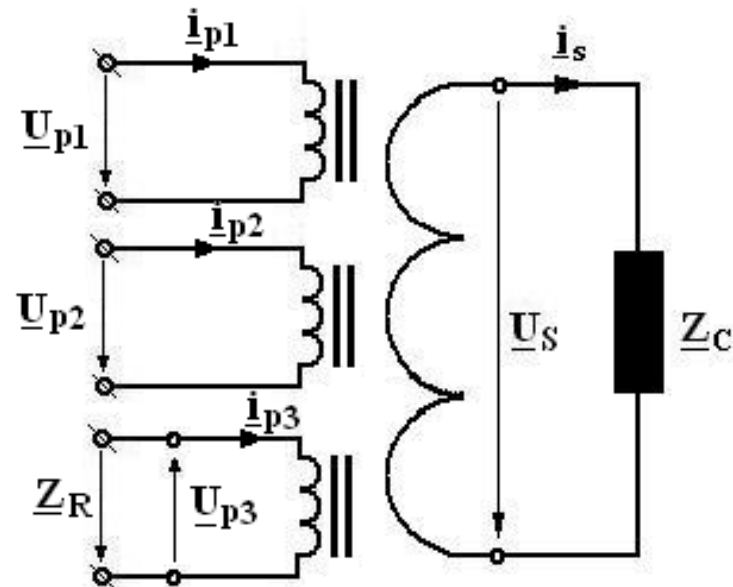
a) reglajul în trepte:

- prin conectarea bobinelor primare în serie / paralel;
- prin modificarea numărului de module "active" (cu primarele alimentate), față de numărul de module "pasive" (cu bornele înfășurărilor primare scurtcircuitate);
- prin modificarea numărului de spire în secundar.

b) reglajul continuu :

- prin modificarea tensiunii de alimentare (continuu) a primarului unui modul celelalte aflându-se în stare "activă" (alimentate cu tensiunea maximă admisă) sau "pasivă";
- prin modificarea valorii unei impedanțe aflate la bornele primare;
- prin modificarea tensiunii de alimentare în mod continuu la toate primarele conectate în serie sau paralel;
- prin înserierea în circuitul secundar a unei impedanțe variabile.


În cele ce urmează se analizează doar cazul practic de reglaj specific acestor tipuri de surse și anume reglajul în trepte prin modificarea numărului de module "active", iar continuu prin alimentarea cu tensiune variabilă, de la zero la valoarea maximă admisă, a primarului unui singur modul. Schema principială este prezentată în Fig.1.14.



**Fig.1.14** Schema principială pentru analiza reglării mărimilor

Cu secundarul în gol tensiunea  $U_s$  este dată de expresia următoare:

$$U_s = E_{ms} = E_{1ms} \pm E_{2ms} = -N_s \frac{d\Phi_{mp1}}{dt} \mp N_s \frac{d}{dt} (\Phi_{mp1} \pm \Phi_{mp2}) = -N_s \frac{d}{dt} \Phi_r$$



Expresia evidențiază faptul că valorile tensiunii secundare depind de modul în care se sumează tensiunile electromotoare ce iau naștere în secundar datorită fluxurilor independente  $\Phi_{mp1}$ ,  $\Phi_{mp2}$ . Deci variația tensiunii electromotoare rezultante se poate obține astfel în două moduri:

a) Inițial se impune fluxul  $\Phi_{mp2} = 0$ , iar fluxul  $\Phi_{mp1}$  se variază continuu de la zero până la valoarea maximă admisă; apoi se menține constant și se variază al doilea flux ( $\Phi_{mp2}$ ) de la zero la valoarea sa maximă, având grijă să se obțină o "sumare" cu primul flux. Dacă sunt mai mult de două module procesul poate continua ca la al doilea modul. Se poate astfel realiza variația continuă a tensiunii sau/și în trepte.

b) Se menține t.e.m. Ems nulă prin crearea unor fluxuri diferențiale, încât cele două t.e.m. induse de aceste fluxuri să se scadă. Apoi unul dintre fluxuri se micșorează până la anulare când t.e.m din secundar va crește de la zero până la valoarea maximă corespunzătoare fluxului rămas (maxim admis); se inversează apoi sensul primului flux prin alimentarea adecvată a înfășurării primare încât de astă dată cele două fluxuri să aibă "același sens", astfel la creșterea acestuia până la valoarea maximă admisă să se obțină valoarea maximă a tensiunii electromotoare din secundar în cazul mai multor module, urmând aceeași metodologie se poate obține o plajă largă în reglarea tensiunii secundare.



Expresia curentului din secundar:

$$\underline{I}_s = \frac{\underline{U}_{p1}'' + \underline{U}_{p2}''}{3\underline{Z}_p'' + \underline{Z}_R'' + \underline{Z}_c + \underline{Z}_s}$$

unde:

$$\underline{U}_{p1}'' = \frac{N_2}{N_1} \underline{U}_{p1} \quad \underline{U}_{p2}'' = \frac{N_2}{N_1} \underline{U}_{p2}$$

$\underline{Z}_p'' = R_p + jX_{dp}$   $X_{dp}$  este reactanța de dispersie primar-secundar pentru un modul magnetic;

$\underline{Z}_R'' = \underline{Z}_R \left( \frac{N_2}{N_1} \right)^2$  impedanța de reglaj raportată;

$\underline{Z}_c = R_c + jX_c$  impedanța de sarcină

$\underline{Z}_s = R_s + 3jX_{ds}$   $X_{ds}$  fiind reactanța de dispersie secundar-primar pentru un modul magnetic;



Valorile curentului din secundar vor depinde de următoarele mărimi:

- tensiunile de alimentare a primarelor
- valoarea impedanței de reglaj  $Z_R$ ;
- valorile raportului de spire între primare și secundar;
- valorile inductanțelor de dispersie;
- valorile sarcinii;
- calitatea materialului magnetic.

Generalizând expresia (1.48) pentru (n) module din care (m) au conectate la bornele primare impedanțele de reglaj  $\underline{Z}''_{Rk}$  (unde  $k = 1...m$ ), iar n-m module sunt alimentate cu tensiunile  $\underline{U}''_{pi}$  (unde  $i = 1...n-m$ ) se obține expresia:

$$\underline{I}_s = \frac{\sum_1^{n-m} U''_{pi}}{\sum_1^n Z''_{pj} + \sum_1^m Z''_{Rk} + \underline{Z}_c + \underline{Z}_S}$$

unde,

$$\underline{Z}_S = R_S + n j X_{dS}$$



Se pot evidenția următoarele concluzii privind principiile teoretice ale surselor de curent concepute:

1. Posibilități variate de reglaj continuu și în trepte a curentului secundar cu modalități diferite date de:

- însumarea tensiunilor electromotoare secundare produse de fluxurile magnetice reglabile din modulele sursei;
- utilizarea unor elemente semiconductoare comandate (tiristor, triac).

Prin modificarea construcției secundarului (poziție, forma, structură) se poate obține schimbarea gamei de reglaj.


2. Capabilitatea de a se face transportabile la orice putere;

3. Posibilitatea de a fi construite în varianta fixă, transportabilă, mobilă, pentru toate domeniile: cercetare, fabricare, exploatare;

4. Capacitatea de a se elabora ca serie de truse modulare unitare minimizate numeric și economic care să asigure verificări pentru toată seria de curenți nominali ai aparatelor de comutație și pentru un număr de căi de curent și contacte diferit;

5. Posibilitatea utilizării :

- în componența unor instalații de încercare sintetice pentru diverse game de tensiuni;
- ca surse de curent sau tensiune reglabile în cazul fabricării aparatelor electrice, în instalații de tracțiune electrică;



Din toate variantele de reglaj, abordabile toate în funcție de dotarea posibilă a beneficiarului, se pot considera pentru sursa de curent, din punct de vedere al simplității practice, următoarele metode:

- pentru reglarea în trepte: alimentarea unui număr de module la tensiunea maximă (fiind considerate și denumite convențional "active" și celelalte având primarele în scurtcircuit (fiind considerate și denumite convențional "pasive");
- pentru reglajul continuu al curentului (eventual al tensiunii) pe treaptă, unul dintre modulele "active" va fi alimentat cu o tensiune variabilă a cărei valoare va acoperi domeniul de la zero (echivalent cu scurtcircuit la bornele primare) la valoarea maximă egală cu cea a celorlalte module "active".



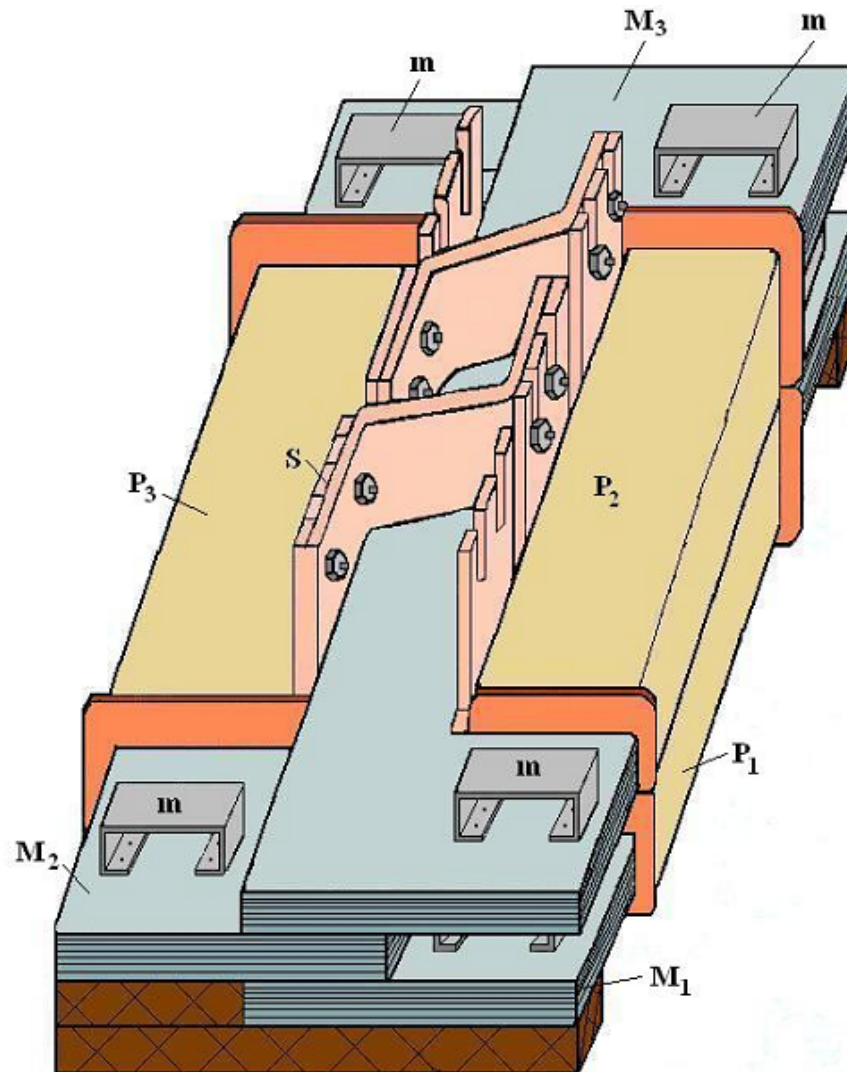
## **Construcția surselor modulare**

Sursele modulare de curent pentru încercări, ale căror principii de funcționare pot avea și alte utilizări, sunt construite dintr-un număr variabil de module electromagnetice pe care se găsesc bobinele primare înlanțuite de secundarul comun sau de mai multe înfășurări secundare.

### **Miezurile magnetice ale modulelor**

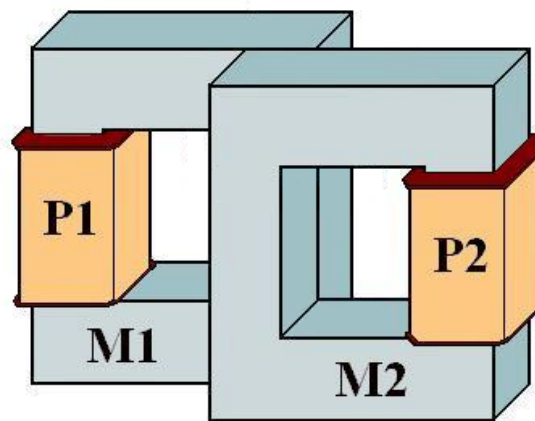
Sursele de curent sau tensiune, modulare reglabile, pot fi realizate utilizând toate formele de circuit magnetic, începând cu versiunile miniaturizate și terminând cu dimensiunile cele mai mari posibile din punct de vedere tehnologic.

**A.** Montarea pe orizontală a miezurilor în construcția clasică pentru compunerea unor surse cu trei sau mai multe module funcție de puterea la ieșire necesară. Avantajele acestor surse, prezentată în Fig.1.18, constau în ușoara construcție a miezurilor magnetice, o comodă montare a ansamblului.



**Fig.1.18** Surse cu montarea orizontală a miezurilor:  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$  – module;  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$  – primarele;  $S$  – secundarul comun;  $m$  – mâner pentru transport

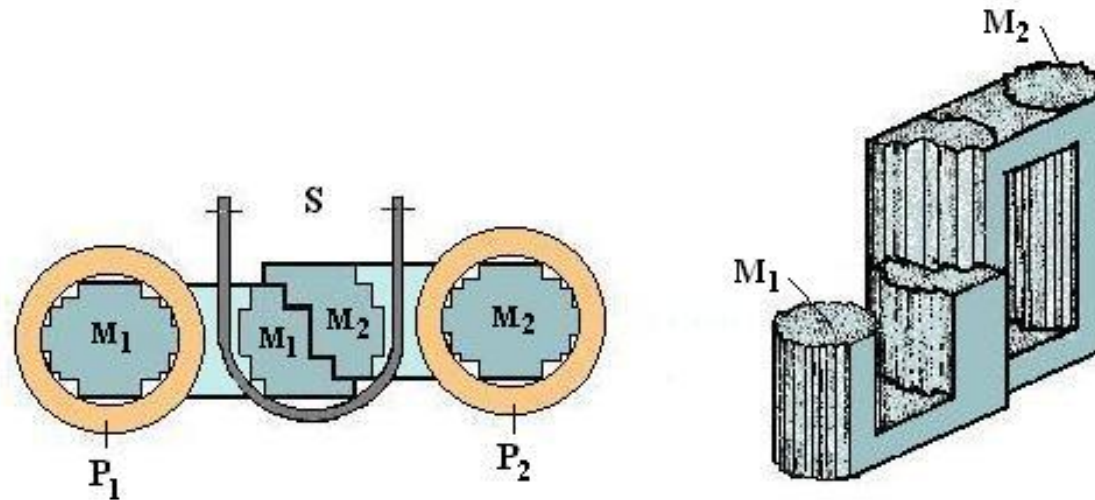
**B.** Montarea miezurilor în construcție clasică, variantă prezentată în Fig.1.19, pe verticală aceasta contribuind la o mai bună răcire a înfășurărilor, o accesibilitate simetrică, atât la toate înfășurările primare, cât și la secundar. Construcția permite utilizarea fără efort a unor secundare diverse, de la cabluri de forță de construcție specială (torsadate) la secundare construite din benzi de cupru sau din bară masivă.



**Fig.1.19** *Montarea miezurilor pe verticală*

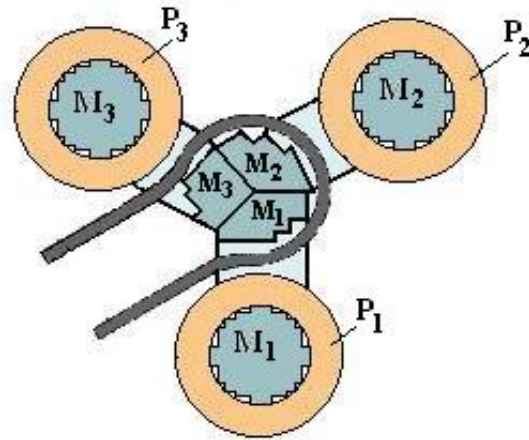
**C.** Montarea verticală a miezurilor acestea având construcția coloanelor pe care se bobinează primarele în trepte

Atât primarele, cât și secundarul devin circulare obținându-se astfel o impedanță mai mică pentru secundar, o reducere a fluxurilor de pierderi și o răcire mai bună, atât pentru primare, cât și pentru secundar.

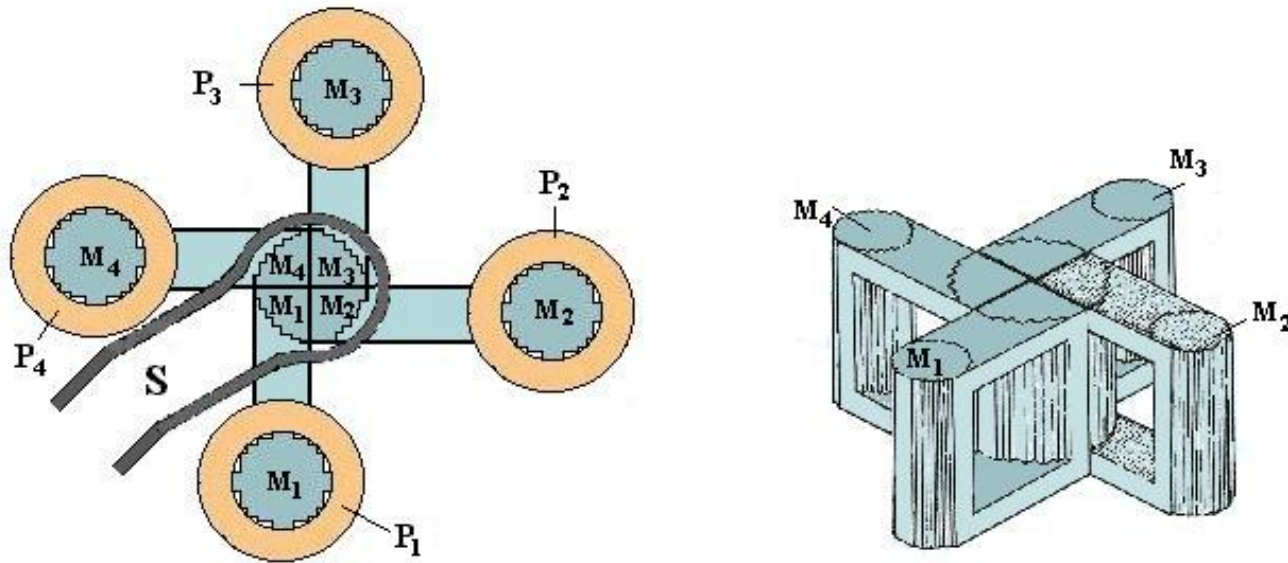


**Fig.1.20** Surse cu două module verticale



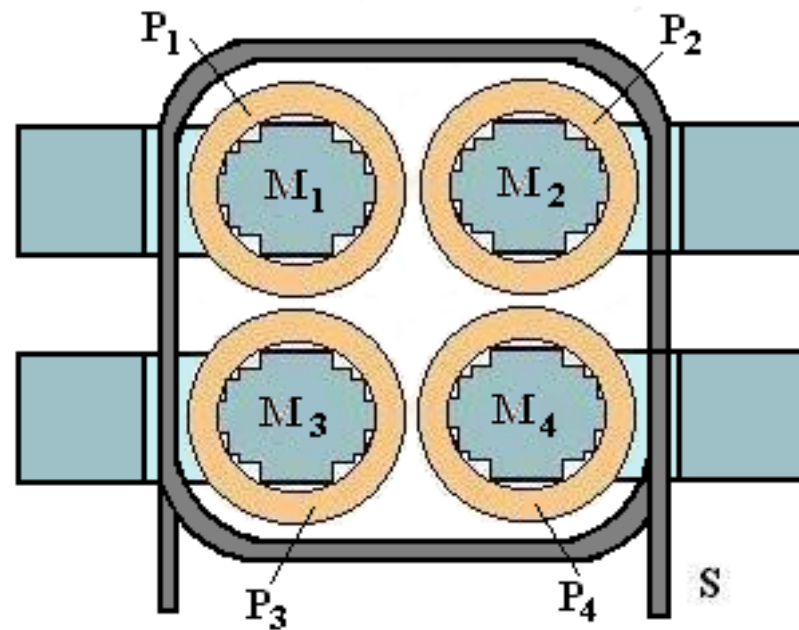


**Fig.1.21** Sursă cu trei miezuri verticale (secțiune)



**Fig.1.22** Sursă cu patru module verticale

**D.** Montarea verticală a miezurilor în construcție clasică sau în trepte (funcție de putere) pentru coloanele pe care sunt bobinate primarele și cu secundar comun ce cuprinde aceste coloane, Fig.1.23.



**Fig.1.23** Sursă cu module verticale în construcție clasică



## **Bobinele primare și secundarul**

Construcția bobinelor primare este cea clasică (bobine de tensiune) cu conductor de cupru izolat cu bumbac sau email cu secțiunea corespunzătoare pentru o densitate de curent de  $3\text{A/mm}^2$  sau mai mare în ipoteza funcționării sursei în regim de scurtă durată.

Construcția secundarului trebuie adaptată variantei ca sursă de tensiune sau ca sursă de curent. Varianta construcției pentru sursă de tensiune nu pune probleme deosebite însă trebuie avută în vedere tensiunea la gol ce se poate obține (cu atât mai mare cu cât crește numărul modulelor) curenții sunt însă de valori mici. Utilizarea construcției ca sursă de curent pentru încercări, impune ca secundarul să poată suporta, când este cazul, valori de curent de până la  $1\dots 25(50)\text{kA}$ , valori necesare testării aparatelor de comutație de joasă tensiune.

În realizările practice ale surselor, în funcție de posibilitățile beneficiarului, secundarul se poate construi din:

- cabluri de forță din cupru;
- bară de cupru masiv, profilată;
- benzi flexibile de cupru.