

# Anexa A

## TIPURI DE ÎNFASURARI DE CURENT CONTINUU

### A.1 CARACTERSTICILE CONSTRUCTIVE ALE ÎNFASURARILOR DE CURENT CONTINUU ÎN TOBA

Dupa modul de înscriere a sectiilor se deosebesc doua tipuri principale de înfasurari în toba:

- Înfasurarea buclata la care sectiile succesive conectate în serie pe calea de curent au laturile de ducere, respectiv de întoarcere asezate sub aceeasi perechi de poli. Capetele unei sectii sunt legate la lamele vecine, sau la lamele apropiate între ele pe colector.
- Înfasurarea ondulata la care sectiile succesive conectate în serie pe calea de curent sunt situate sub perechi de poli diferite, în ordinea în care se succed la periferia indusului. La aceasta înfasurare, capetele unei sectii sunt legate la lamele distantate la periferia colectorului cu un interval aproape egal cu dublul pasului polar ( $K/p$  lamele de colector).

a) **Pasul înfasurarii.** Pentru caracterizarea tipului de înfasurare si a constructiei acesteia se definesc urmatorii pasi:

- *Primul pas al înfasurarii*, denumit si pasul sectiilor, sau pasul de ducere (pasul în spate), se noteaza cu  $y_1$  si reprezinta intervalul dintre laturile unei sectii masurat prin numarul de lamele de colector (sau numarul de crestaturi elementare). Primul pas al înfasurarii este aproximativ egal cu pasul polar,  $y_1 \approx \frac{K}{2 \cdot p}$ , si determina latimea bobinelor. Deschiderea sectiei masurata prin numarul de crestaturi îmbratisat de sectie este egala cu pasul polar la înfasurarile diametrale

$$y_{1c} = \frac{Z}{2 \cdot p}, \quad (\text{A.1})$$

sau diferit de acesta, la înfasurarile cu pas scurtat

$$y_{lc} = \frac{Z}{2 \cdot p} \cdot \left( \text{cu } y_{lc} > \frac{Z}{2 \cdot p} \text{ sau } y_{lc} < \frac{Z}{2 \cdot p} \right). \quad (\text{A.2})$$

– Al doilea pas al înfasurarii, denumit si pasul la întoarcere (sau pasul la spate) se noteaza cu  $y_2$  si reprezinta intervalul dintre latura de întoarcere a unei sectii si latura de ducere a sectiei urmatoare conectata în serie în circuitul înfasurarii, masurat de asemenea prin numarul de lamele la colector; pasul  $y_2$  determina distanta dintre doua bobine care se succed în circuitul înfasurarii.

- *Pasul rezultat* denumit pasul la colector, se noteaza cu  $y$  si reprezinta intervalul dintre laturile de ducere a doua sectii care se succed în circuitul înfasurarii, masurat de asemenea prin numarul de lamele de colector.

Înfasarile sunt încrucisate daca laturile de ducere si de întoarcere ale aceleiasi sectii, sau ale aceluiasi înconjur se încruciseaza la colector: înfasurarile sunt neîncrucisate daca laturile sectiei, sau ale înconjurului nu se încruciseaza la colector.

În figura A.1 s-au reprezentat desfășurate sectii ale înfasurarii buclate neîncrucisate ( $y_2 < y_1$ , în figura A.1, a), respectiv încrucisate ( $y_2 > y_1$ , în figura A.1, b).

Pasul rezultat la înfasurarea buclata este dat de relatia:

$$y = y_1 - y_2. \quad (\text{A.3})$$

La înfasurarea buclata neîncrucisata  $y > 0$ , iar la înfasurarea buclata încrucisata  $y < 0$ .

În figura A.2 s-au reprezentat desfășurate sectii ale înfasurarii ondulate neîncrucisate ( $p \cdot y < K$ , în figura A.2, a), respectiv încrucisate ( $p \cdot y > K$ , în figura A.2, b).

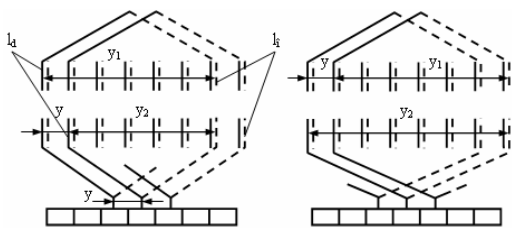


Fig A.1 Sectii ale infasurarii buclate:  
a) neîncrucisata; b) încrucisata

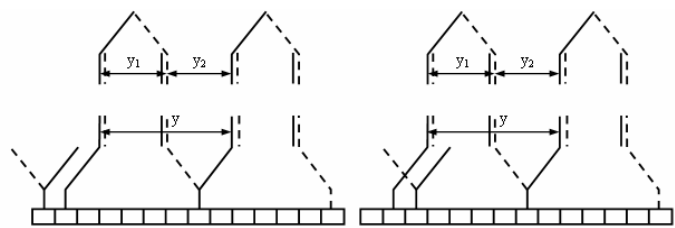


Fig A.2 Sectii ale infasurarii ondulate:  
a) neîncrucisata; b) încrucisata

Pasul rezultat la înfasurarea ondulate este dat de relatia:

$$y = y_1 + y_2. \quad (\text{A.4})$$

La înfasurarea ondulate neîncrucisata,  $p \cdot y < K$ ; dupa un înconjur se efectueaza  $p$  pasi rezultanti si se depaseste lamela de la care s-a pornit.

În general, se prefera înfasurarile neîncrucisate, deoarece consumul de material conductor necesar pentru le gaturile dintre sectii este mai redus.

b) **Înfășurarea normală și înfășurarea în trepte.** La înfășurările cu două sau mai multe secții pe creștatura ( $u \geq 2$ ), secțiile pot fi identice (având aceeași deschidere) sau pot avea deschideri diferite.

Înfășurarea normală este formată din  $u$  secții. În figura A.3 s-a reprezentat o bobină a unei înfășurări normale. Tehnologia înfășurării normale este mai simplă.

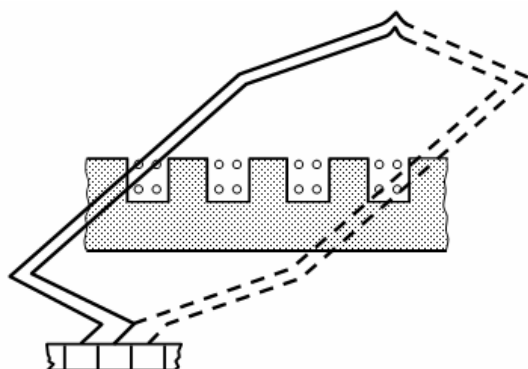


Figura A.3 Bobină la înfășurarea normală

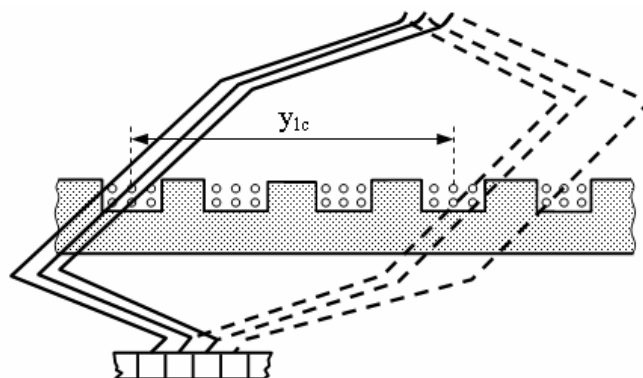


Figura A.4 Bobină la înfășurarea în trepte

Înfășurarea în trepte are secțiile de deschideri diferite. Secțiile înfășurării în trepte au laturile de ducere așezate în aceeași creștătură și laturile de întoarcere așezate parțial în aceeași creștătură și parțial într-o creștătură învecinată.

În figura A.4 s-a reprezentat o bobină a unei înfășurări în trepte, având  $u = 3$ ; la această înfășurare  $\frac{2}{3}$  din numărul de secții au deschiderea  $y_{1c}$ , iar  $\frac{1}{3}$  din numărul de secții au deschiderea  $y_{1c} + 1$ .

Mășinile echipate cu înfășurări în trepte se comportă mai bine în funcționare, având în general o comutație mai bună; fluxul magnetic mutual din creștătură este mai mic în cazul dispunerii laturilor de secție în creștături vecine, iar tensiunea indusă, în decursul procesului de comutație, de variația fluxului magnetic din creștătură, este mai redusă.

c) **Reprezentarea înfășurărilor.** Înfășurările în toba tip indus de curent continuu se reprezintă grafic, de regulă, prin scheme desfășurate.

În acest caz se presupune că periferia indusului a fost sectionată după o generatoare, iar în axele creștăturilor se prezintă laturile de bobine din cele două straturi. Colectorul se reprezintă, de asemenea, desfășurat.

La înfășurările normale, având  $u \geq 2$ , capetele de bobine de partea colectorului se reprezintă după secțiile lor, iar cele de partea opusă colectorului se reprezintă numai după conturul bobinelor. La înfășurările în trepte capetele de bobine atât de partea colectorului cât și de partea opusă acestuia se reprezintă după secțiile componente.

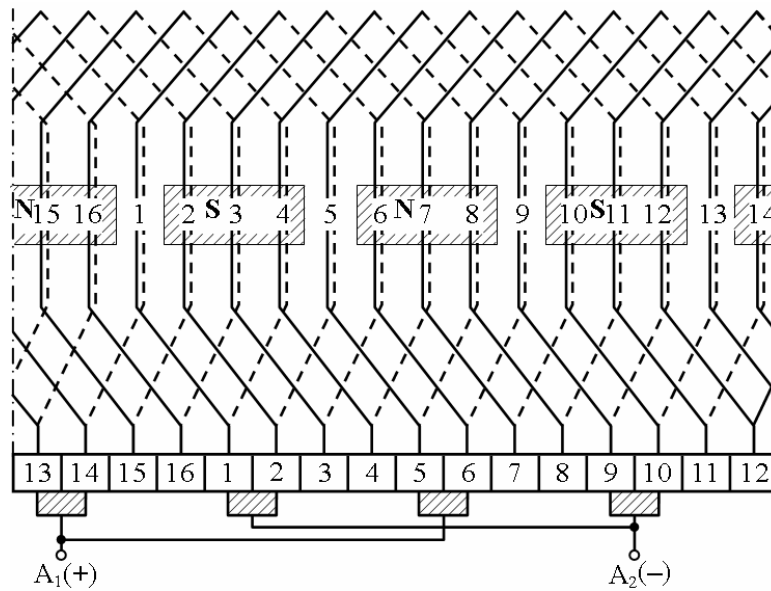


Figura A.5 – Înfășurarea buclata tetrapolara având  $Z = 16$ ,  $p = 2$ ,  $u = 1$ ;  
schema desfășurată a indusului

În figura A.5, s-a reprezentat schema desfășurată pentru cazul unei înfășurări buclate, având  $Z = 16$ ,  $p = 2$ ,  $u = 1$ .

Pe schema desfășurată au fost reprezentați și polii inductorilor. Pasul polar este  $y_{1c} = \frac{Z}{2 \cdot p} = \frac{16}{4} = 4$  crestături; se presupune că polii au lungimea arcului polar egală cu  $\frac{3}{4}$  din pasul polar și acopera astfel trei crestături.

Pe colector au fost așezate periile; poziționarea periiilor se face astfel încât acestea să fie în contact cu lamele la care sunt conectate secțiile ale înfășurării aflate în axa neutră a polilor inductorilor.

## A.2 STEAUA ȘI POLIGONUL TENSIUNILOR ELECTROMOTOARE

Dacă se presupune că tensiunea indusă într-o latură de secție variază sinusoidal în funcție de timp, defazajul dintre fazorii t.e.m. induse în laturile de secție așezate în crestături alăturate este:

$$\gamma = \frac{p \cdot 360^\circ}{Z}. \quad (\text{A. 5})$$

Prin reprezentarea grafică, în aceeași diagramă, a tuturor fazorilor tensiunilor induse în laturile de secție ale unei înfășurări se obține o diagramă de fazori denumită **steaua crestăturilor**.

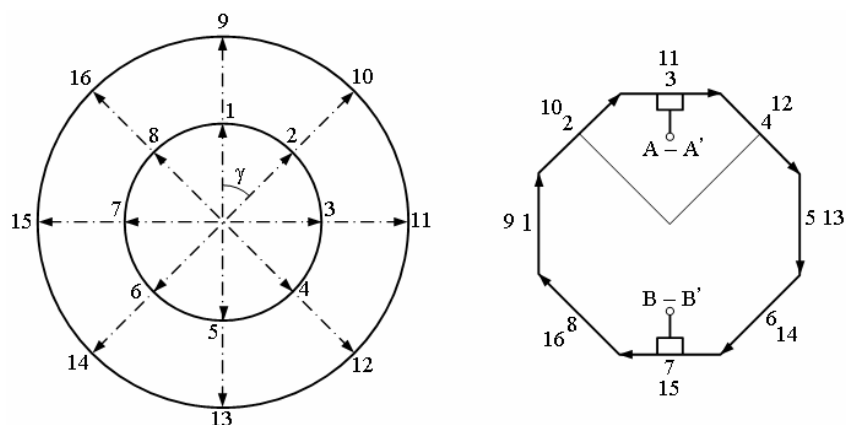


Figura A.6 – Steaua crestaturilor si poligonul tensiunilor induse pentru înfasurarea buclata din figura A.5

Diagrama are  $\frac{Z}{t}$  raze distincte, în care  $t$  este cel mai mare divizor comun dintre numărul de crestături  $Z$  și numărul de perechi de poli  $p$ . Spre exemplu, înfasurarea reprezentată în figura A.5 are  $\frac{Z}{t} = 8$  raze distincte ( $t = 2$ ). Prin compunerea fazorilor tensiunilor induse în secții în ordinea în care se succed acestea în circuitul înfasurării se obține **poligonul tensiunilor**.

În steaua crestaturilor din figura A.6 s-au reprezentat fazorii tensiunilor induse în secții (compusi din fazorii tensiunilor induse în laturile de secții). Poligonul tensiunilor este format la această înfasurare din două poligoane suprapuse (cu laturile 1-2-3-4-5-6-7-8, respectiv 9-10-11-12-13-14-15-16). Numărul poligoanelor rezultate este egal cu numărul perechilor de cai de curent.

Pe poligonul tensiunilor induse se poate figura poziția periiilor, urmărindu-se ca tensiunea la perii să fie rezultanta fazorilor tensiunilor induse în secțiile care compun calea de curent la un moment dat.

### A.3 ÎNFASURARI BUCLATE

Înfășurările buclate au toate bobinele componente ale unei cai de curent situate sub aceeași pereche de poli.

Acestea se realizează în mod uzual ca înfasurări neîncrucisate și au pasul rezultat  $y = m$ , (unde  $m$  este ordinul de multiplicitate); dacă  $m = 1$ , atunci sunt denumite înfasurări buclate simple; acestea au  $a = p$  cai de curent.

Înfășurările care au  $m \geq 2$  sunt denumite buclate multiple; acestea au  $a = m \cdot p$  cai de curent.

În principiu, înfășurările buclate se pot executa pentru oricare număr de creștături; totuși, apar anumite restricții, dependente de tipul înfășurării, care limitează mulțimea de creștături pentru care se execută aceste înfășurări.

### A.3.1 Înfășurări buclate simple

O înfășurare buclată simplă având  $u = 1$  secții pe creștătura a fost reprezentată în figura A.5. La înfășurările buclate simple, pasul rezultat este  $y = + 1$ .

## APLICATII

1. Se cere să se construiască schema desfășurată pentru o înfășurare buclată simplă tetrapolară, având  $Z = 18$  creștături și  $K = 18$  lamele.

### SOLUTIE:

Pasul diametral fiind

$$y_d = \frac{Z}{2 \cdot p} = \frac{18}{2 \cdot 2} = 4,5,$$

s-a ales  $y_1 = 4$ ; deoarece  $y = 1$  (înfășurarea fiind buclată simplă neîncrucișată), rezulta:

$$y_2 = y_1 - y = 4 - 1 = 3.$$

Înfășurarea a fost reprezentată grafic în figura A. 7.

Pe schema desfășurată a înfășurării au fost reprezentați poli inductorilor (în ipoteza că aceștia au deschiderea egală cu 3 creștături), precum și periile pe colector (pasul acestora fiind egal cu pasul diametral  $y_d = 4,5$ ).

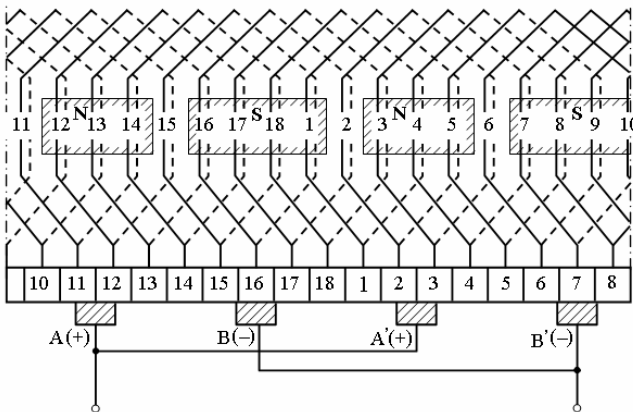


Figura A.7 – Înfășurarea buclată simplă având

$$Z = K = 18, y_1 = 4, y_2 = 3;$$

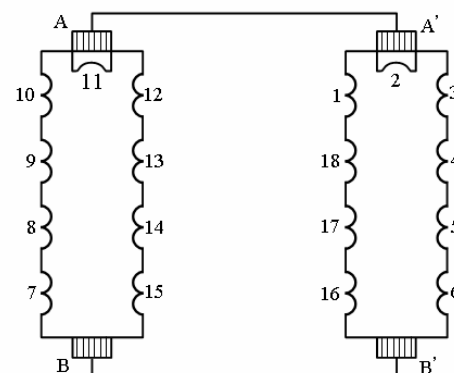


Figura A.8 – Schema electrică a secțiilor înfășurării

Sectiile 11, respectiv 2 sunt scurtcircuitate de perile A, respectiv A' în momentul considerat (figura A.8).

2. Se cere sa se construiasca schema desfasurata pentru o înfasurare buclata simpla, normala, tetrapolara, având  $Z = 12$  crestaturi si  $u = 3$  crestaturi elementare pe crestatura.

**SOLUTIE:**

Prin urmare la aceasta înfasurare rezulta  $K = u \cdot Z = 3 \cdot 12 = 36$  crestaturi elementare.

Pasii înfasurarii sunt:  $y_1 = \frac{K}{2 \cdot p} = \frac{36}{4} = 9$ ,  $y_2 = y_1 - 1 = 9 - 1 = 8$ .

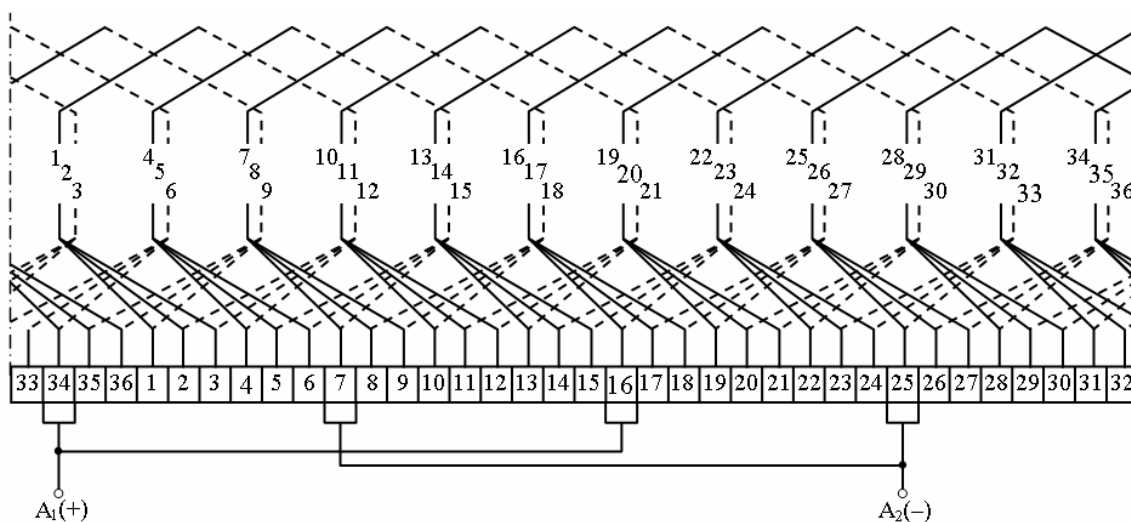


Figura A.9 Înfasurarea buclată simplă normală:  $Z = 12$ ,  $u = 3$ ,  $y_1 = 9$  și  $p = 2$

În figura A.9 au fost reprezentate crestaturile reale și lamelele de colector; numerotarea s-a făcut corespunzător crestaturilor elementare (la o crestatură normală corespund  $u = 3$  crestaturi elementare). Înfasurarea are toate secțiunile cu deschiderile egale cu pasul  $y_c = 3$  crestaturi.

3. Se cere sa se construiasca schema desfasurata pentru o înfasurare simpla tetrapolara, în trepte, având  $Z = 12$  crestaturi,  $u = 3$  crestaturi elementare pe crestatura.

**SOLUTIE:**

O înfasurare buclată în trepte se poate realiza numai în cazul în care  $u \geq 2$ . Spre exemplu, dacă în cazul înfasurării examinate în A.3.2, pentru pasul polar  $y_1$  s-ar fi luat una din valorile 7, 8, 10 sau 11, înfasurarea ar fi rezultat în trepte. În figura A.10 s-au reprezentat schematic porțiuni din înfasurarea în trepte având  $Z = 12$  crestaturi,  $u = 3$ ,  $p = 2$ ,  $y_1 = 10$ , respectiv 11, iar  $y_2 = 9$ , respectiv 10.

În cazul înfășurării din figura A.10 a),  $2/3$  din numărul de secții au deschiderea egală cu 3 creștături, iar  $1/3$  au deschiderea egală cu 4 creștături; în cazul înfășurării din figura A.10, b),  $1/3$  din numărul de secții au deschiderea egală cu 3 creștături, iar  $2/3$  au deschiderea egală cu 4 creștături.

În figura A.11 s-au reprezentat steaua creștaturilor și poligonul tensiunilor pentru înfășurările tetrapolare având  $Z = 12$  creștături,  $u = 3$  și construcția prezentată în figura A.10, a și b. S-au notat cu  $1', 2', \dots$ , fazorii tensiunilor corespunzători laturilor de întoarcere ale secțiilor care au semn opus față de fazorii  $1, 2, \dots$ , corespunzători laturilor de ducere din aceleași creștături.

### A.3.2 Conexiuni echipotentialiale de speta I

Înfășurările buclate simple au numărul de perechi de cai de curent  $a = p$ . Caile de curent, de sub polii de același nume, sunt conectate în paralel prin intermediul periiilor și al legăturilor exterioare realizate între periiile de aceeași polaritate.

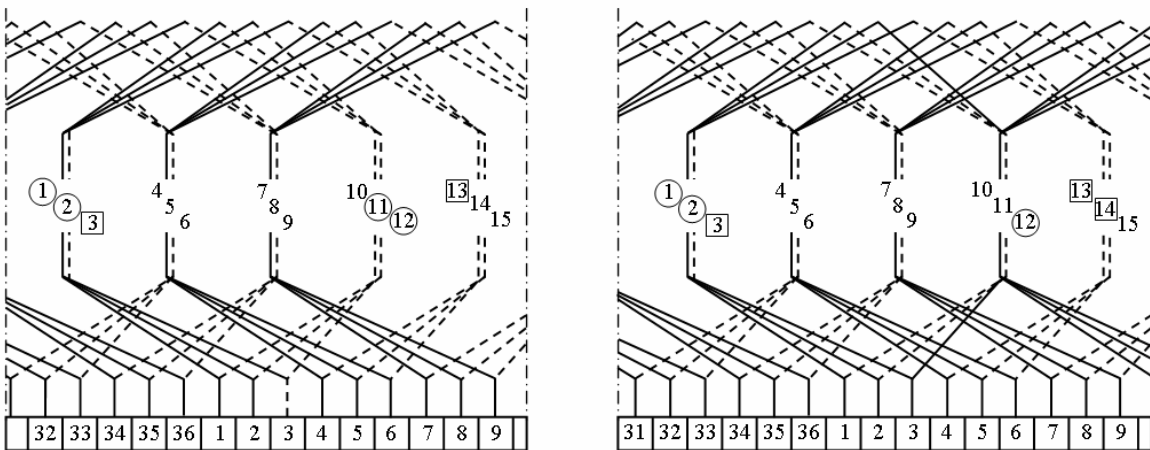


Figura A.10 Portiuni de înfășurare la o înfășurare în trepte cu  $Z = 12$  creștături,  $p =$ ,  $u = 3$  secții pe creștatura având: a)  $y_1 = 10$ ; b)  $y_1 = 11$ .

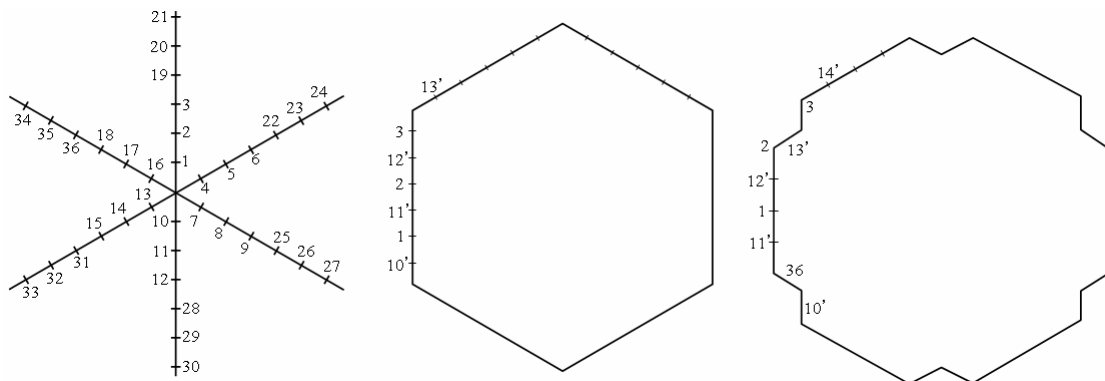


Figura A.11 Steaua creștaturilor și poligonul tensiunilor la înfășurarea în trepte cu  $Z = 12$  creștături,  $u = 3$ ,  $p = 2$  și a)  $y_1 = 10$ ; b)  $y_1 = 11$ .



Tensiunile induse pe caile de curent, în cazul unor conditii identice, au valori egale.

La masinile reale, datorita neomogenitatii circuitului magnetic, anizotropiei diferite a polilor, sau din cauza largirii diferite a întrefierului de la un pol la altul ca urmare a aparitiei unei excentricitati a rotorului fata de stator (produsa de montajul masinii sau prin uzura lagarelor), tensiunile induse în caile de curent pot avea valori diferite între ele.

Curentul se distribuie neuniform pe caile de curent ale înfasurarii, producându-se astfel o încălzire suplimentara a înfasurarii.

Pentru a evita închiderea curentilor prin perii, înfasurarea indusului se echepeaza cu conexiuni echipotentiale, denumite conexiuni echipotentiale de speta întâi; acestea constau din legaturi conductoare între puncte ale înfasurarii care în mod normal ar avea acelasi potential. Astfel, legaturile echipotentiale se efectueaza între puncte ale înfasurarii distantate ca un dublu pas polar, pasul acestora fiind  $y_e = \frac{Z}{p}$  crestaturi. Rolul acestor legaturi echipotentiale consta în asigurarea unor circuite de închidere a curentilor de circulatie, în afara legaturilor dintre perii.

La masinile electrice de puteri mijlocii si mari reactanta înfasurarii rotorului este mai mare decât rezistenta acestora, curentii de circulatie prin înfasurare fiind defazati cu aproape  $\frac{\pi}{2}$  în raport cu tensiunea indusa; în aceste conditii curentii de circulatie modifica distributia câmpului magnetic rezultat din întrefierul masinii, producând o atenuare partiala a asimetriilor magnetice.

## APLICATII

1. Se cere sa se construiasca schema defasurata, steaua crestaturilor si poligonul tensiunilor electromotoare pentru o înfasurare buclata multipla de ordinul  $m = 2$  si având  $Z = 18$  crestaturi,  $p = 2$  perechi de poli si  $K = 18$  lamele de colector.

### **SOLUTIE:**

Pasul diametral este:

$$y_{1d} = \frac{K}{2 \cdot p} = \frac{18}{4} = 4,5.$$

Pasul înfasurarii se poate lua egal cu 4 sau 5; se considera pasul  $y_1 = 5$ .

Pasul rezultat este:

$$y = m = 2.$$

Al doilea pas al înfasurarii rezulta din relatia:



Legaturile echipotentiale leaga sectii ale unei înfasurari, cu sectii ale celeilalte înfasurari (de exemplu 1 – 10, 5 – 14, 13 – 4 etc.). În acest fel se rigidizeaza si pozitia relativa a conturilor poligonale.

### A.3.3. Conexiuni echipotentiale de speta a II-a

La înfasurarile multiple se poate întâmpla ca o perie sa nu realizeze un contact bun cu toate lamelele colectorului. În acest caz, vor ramâne în circuitul electric al indusului numai o parte din caile de curent ale înfasurarii prin care va trece curentul total; se vor produce pierderi Joule sporite si o încălzire suplimentara a portiunilor de înfasurare aflate în functiune.

Între perie si lamela cu care nu se realizeaza contactul, apare o tensiune electrica egala cu tensiunea indusa în sectie si se produc scânteii la colector; astfel, de exemplu, la înfasurarea reprezentata în figura A.13, daca peria B face un contact bun numai cu lamelele 14 si 15, atunci între perie si lamela 16 apare tensiunea sectiei 14 – 16 care provoaca scânteii în zona de contact imperfect a periei cu colectorul.

La înfasurarea buclata dubla din figura A.15 conexiunile echipotentiale de speta întâi se efectueaza între puncte ale celor doua înfasurari si contribuie, totodata, la uniformizarea potentialului pe colector, respectiv la închiderea curentului total prin toate caile de curent ale înfasurarii.

La înfasurarea buclata din figura A.15 sunt necesare legaturi conductoare suplimentare, denumite conexiuni echipotentiale de speta a II- a, între puncte ale înfasurarilor distincte care în mod normal se afla la aceeasi potential. Pentru ca aceste puncte sa fie accesibile, la înfasurarea cu un singur conductor pe sectie, este necesar ca pasii înfasurarii sa îndeplineasca relatia:

$$y_1 - y_d = y_d - y_2 \quad (\text{A.7})$$

În acest fel, lamela intermediara cuprinsa între cele doua lamele la care este legata sectia va avea potentialul electric egal cu media potentialelor vecine si este posibila efectuarea unor conexiuni echipotentiale de speta a II-a între capetele de bobine dispre colector si cele opuse colectorului, ca în figura A.15.

Pentru ca în circuitul legaturilor echipotentiale de speta a II-a, realizate între puncte ale capetelor de bobina aflate în partile frontale opuse ale înfasurarii, sa nu se induca tensiuni, acestea sunt conduse prin interiorul indusului, în afara câmpului magnetic din întrefier.

În cazul general, conexiunile echipotentiale de speta I îndeplinesc si rolul conexiunilor de speta a II-a, când acestea leaga între ele sectii aparținând înfasurarilor distincte (la înfasurarea închisa de mai multe ori), sau conturilor diferite.

Astfel, la înfășurarea dubla care se închide de doua ori  $K$  și  $p$  sunt numere pare; pasul

legaturilor echipotentiale de speta întâi este  $y_e = \frac{K}{p} = \frac{u \cdot Z}{p}$ .

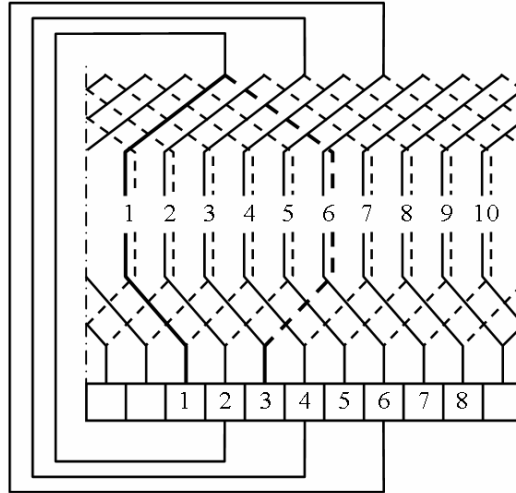


Figura A.15 Porțiune din înfășurarea buclată dubla reprezentată în figura A.14 echipată cu conexiuni echipotentiale de speta a II-a.

Pentru ca aceasta să îndeplinească și rolul conexiunilor de speta a II-a trebuie ca  $Z$  să fie un număr impar. Dar pentru conexiunile echipotentiale de speta întâi trebuie ca  $\frac{Z}{p}$  = număr întreg.

Rezultă astfel ca  $u$  și  $\frac{Z}{p}$  trebuie să fie numere impare. La înfășurarea închisă de doua ori numărul de lamele  $K = u \cdot Z$  este par (cu  $u$  – impar) numai dacă  $Z$  – par.

La înfășurările închise o dată ( $K$  și  $p$  fiind prime între ele), cu  $\frac{Z}{p}$  = număr întreg și  $K = u \cdot Z$ , rezultă ca  $u$  și  $Z$  trebuie să fie impare, iar  $p$  – impar unul dintre divizorii lui  $Z$ .

#### A.4 ÎNFĂȘURARI ONDULATE

Înfășurările ondulate sunt constituite prin inserierea bobinelor aflate sub perechile de poli succesive de la periferia indusului.

La efectuarea unui înconjur, pornind, de exemplu, de la lamela 1, se avansează cu  $p \cdot y$  pași,  $y$  fiind pasul rezultat ( $y = y_1 + y_2$ ) și se ajunge în urma lamelei de la care s-a pornit (la înfășurările neîncrucisate), sau după aceasta (la înfășurările încrucisate) cu  $m$  – lamele; prin urmare

$$p \cdot y = K \pm m, \quad (\text{A.8})$$

în care  $m$  este ordinul de multiplicitate al înfasurării; semnul  $(-)$  corespunde înfasurarilor neîncrucisate, iar semnul  $(+)$  înfasurarilor încrucisate.

Înfasarile ondulate au  $a = m -$  perechi de cai de curent.

Din relatia (A.8) rezulta:

$$y = \frac{K \mp m}{p} = \text{numar întreg} \quad (\text{A.9})$$

Prin urmare înfasurarile ondulate se pot executa numai pentru anumite numere de crestaturi, respectiv, lamele de colector. De exemplu, la înfasurarile ondulate simple ( $m = 1$ ), la numar par de perechi de poli  $p$ , numarul de lamele  $K$  trebuie sa fie impar, ceea ce este posibil numai daca  $u$  si  $Z$  sunt impare; la numar impar de perechi de poli,  $p$  trebuie sa se afle printre divizorii numarului  $(K-1)$ .

La înfasurarile ondulate duble ( $m = 2$ ) la numar par de perechi de poli, numarul de lamele la colector  $K$  trebuie sa fie, de asemenea, par.

#### A.4.1 Înfasurari ondulate simple

La aceste înfasurari  $m = \pm 1$ ; pasul rezultat se obtine din relatia (A.9), iar pasii partiali, din relatiile:

$$y_1 = \frac{K}{2 \cdot p}, \quad y_2 = y - y_1. \quad (\text{A.10})$$

## APLICATII

1. Se cere sa se construiasca schema desfasurata pentru o înfasurare ondulata simpla tetrapolara, având  $Z = 19$  crestaturi si  $K = 19$  lamele de colector.

### **SOLUTIE:**

Pasii înfasurării neîncrucisate sunt:

– pasul rezultat  $y = \frac{(K-1)}{p} = \frac{(19-1)}{2} = 9;$

– pasul  $y_1 = \frac{K}{2 \cdot p} \pm \varepsilon$  pasul diametral fiind  $y_d = \frac{K}{(2 \cdot p)} = \frac{19}{4} = 4 \cdot \frac{3}{4}$ , se considera pentru

pasul  $y_1$ , valoarea  $y_1 = 5;$

– pasul  $y_2 = y - y_1 = 9 - 5 = 4.$

Schema desfășurată a înfășurării, steaua creștaturilor și poligonul tensiunilor electromotoare sunt reprezentate în figura A.16.

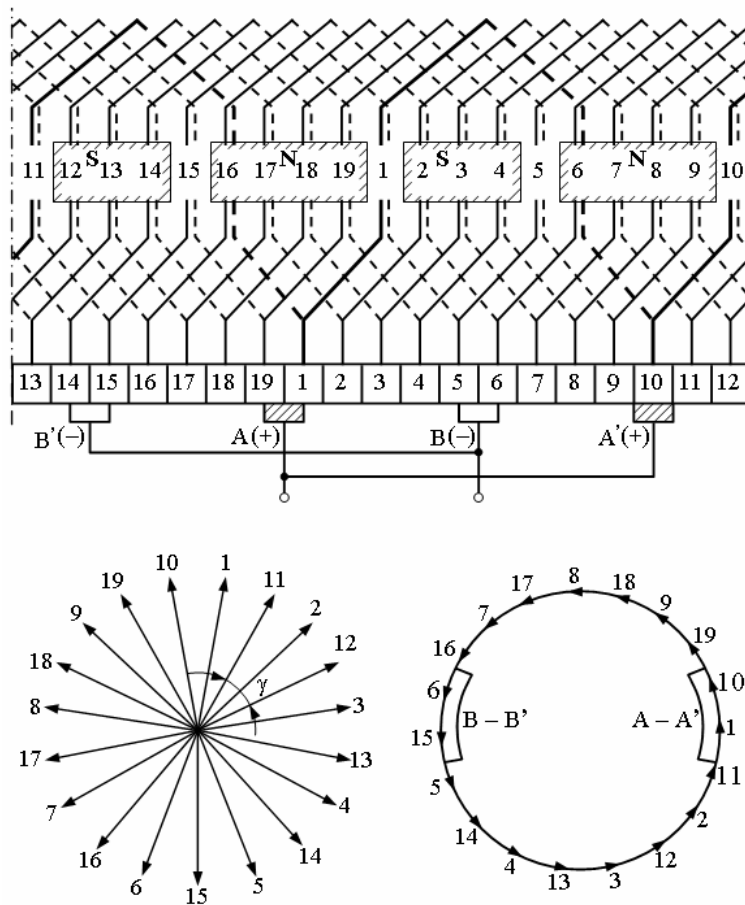


Figura A.16 Înfașurare ondulată simplă tetrapolară cu  $Z = 19$ ,  $u = 1$ ,  $y_1 = 5$ ,  $y_2 = 4$ .

Defazajul dintre fazorii a doua creștături este:

$$\lambda = \frac{p \cdot 360}{Z} = \frac{2 \cdot 360}{19} = 37 \cdot \frac{17}{19} \text{ grade}.$$

Se constată că înfășurarea ondulată simplă are  $a = 1$ , indiferent de numărul de perechi de poli.

Mășina de c.c. având înfășurarea indusului de tip ondulat se poate echipa cu o singură pereche de perii dispuse pe colector la unghiul  $\frac{360^\circ}{p}$ , sau cu  $2 \cdot p$  perii dispuse uniform pe colector la un interval egal cu pasul polar.

## APLICATII

Se cere să se reprezinte schema desfășurată pentru o înfășurare ondulată tetrapolară dublă având  $Z = 20$  creștături și  $K = 20$  lamele la colector.

**SOLUTIE:**

Pasii înfășurării neîncrucisate sunt:

$$y = \frac{K - m}{p} = \frac{20 - 2}{2} = 9;$$

$$y_1 = \frac{K}{2 \cdot p} \pm \varepsilon = \frac{20}{4} \pm 0 = 5;$$

$$y_2 = y - y_1 = 9 - 5 = 4.$$

Deoarece  $y$  și  $m$  nu au un divizor comun, înfășurarea se va închide o singură dată (figura .18).

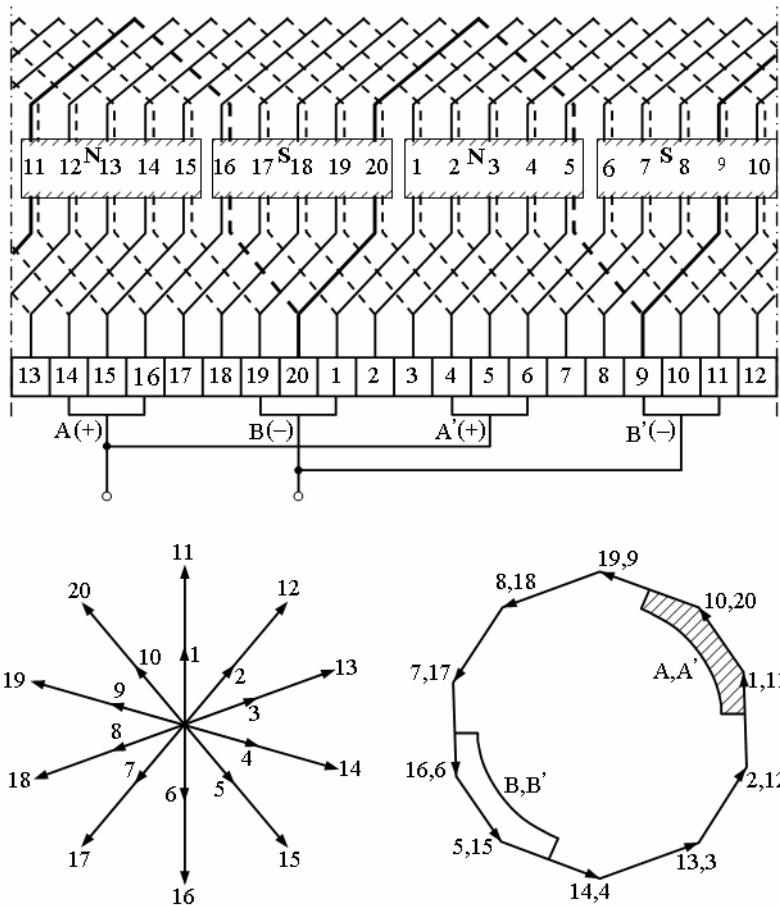


Figura A.18 Înfasurarea ondulata dubla, tetrapolară cu  $Z = K = 20$ ,  $y_1 = 5$ ,  $y_2 = 4$ .

Înfășurarea are  $a = 2$  perechi de cai de curent, la fel ca înfășurarea buclată simplă tetrapolară; în cazul în care înfășurarea ondulată multiplă este realizată pentru  $p = 4, 6, 8, \dots$ , numărul de perechi de cai de curent rămâne neschimbat ( $a = m$ ).

**A.4.3 Conexiuni echipotentială la înfășurarile ondulate multiple**

Înfășurarile ondulate multiple au calea de curent constituită din secții aflate sub toate perechile de poli și eventualele anizotropii ale circuitului magnetic influențează în același mod

valoarea tensiunilor induse pe calea de curent; în consecință, înfășurările ondulate multiple nu necesită conexiuni echipotentiale de speta I.

Înfășurările ondulate multiple necesită conexiuni echipotentiale de speta a II-a, din aceleași considerații ca și înfășurările buclate multiple.

Legăturile echipotentiale de speta a II-a se efectuează de aceeași parte a înfășurării cu pasul

$$y_e = \frac{K}{p} = \text{număr întreg, dacă } \frac{Z}{p} = \text{număr întreg sau } \frac{g \cdot Z}{p} = \text{număr întreg, cu } g = 1, 2, 3, \dots$$

În acest din urmă caz pasul legăturilor echipotentiale este  $y_e = \frac{g \cdot K}{p}$ , dacă  $g = \frac{p}{m}$ , rezulta

$$y_e = \frac{K}{m}.$$

În cazul înfășurării ondulate multiple din figura A.19 legăturile echipotentiale se pot efectua de aceeași parte a colectorului și au pasul

$$y_e = \frac{K}{p} = \frac{20}{2} = 10.$$

Acestea leagă contururi de înfășurare diferite. Schema conexiunilor este reprezentată în figura A.19.

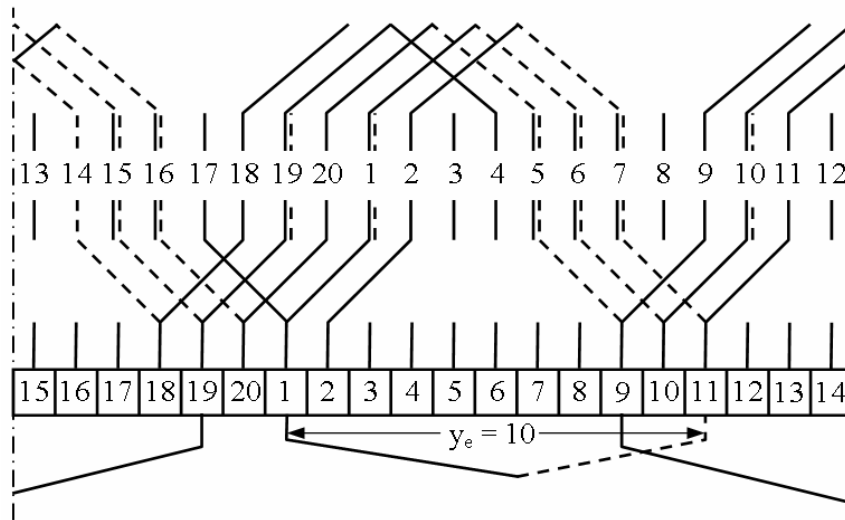


Figura A.19 Schema legăturilor echipotentiale de speta a II-a pentru înfășurarea ondulantă dublă din figura A.18

În cazul în care conexiunile echipotentiale de speta a II-a nu se pot executa de aceeași parte a indusului înfășurarea trebuie construită astfel încât să fie posibile conexiuni echipotentiale realizate între puncte ale înfășurării aflate de o parte și de alta a indusului; punctele care în mod normal au același potențial rezulta din poligonul tensiunilor construit pentru înfășurare.



## A.5 ÎNFASURARI COMBIMATE

Pentru eliminarea conexiunilor echipotentiale au fost concepute înfasurarile combinate formate, în cazurile normale, dintr-o înfasurare buclata simpla si o înfasurare ondulata multipla de ordinul  $m = p$  racordate la acelasi colector. Înfasurarile sunt asezate în aceleasi crestaturi în patru straturi; la extremitati se aseaza laturi de bobine aparținând înfasurarii ondulate, iar la mijloc – laturi de bobine ale înfasurarii buclate.

În principiu, sunt posibile doua tipuri de înfasurari combinate:

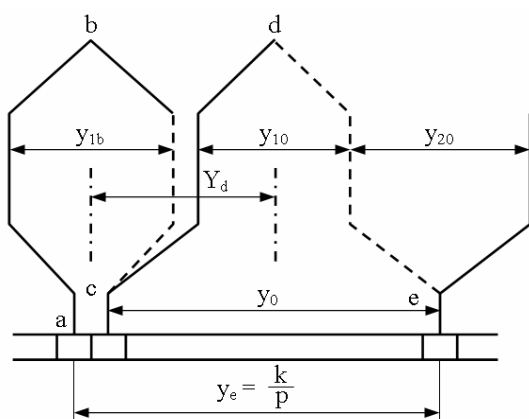


Figura A.20 Sectie de infasurare tip Latour

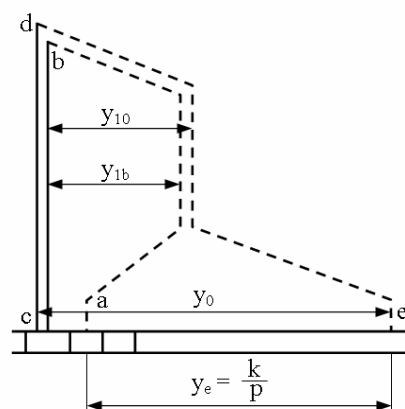


Figura A.21 Sectie de infasurare tip BBC

Înfășurarea tip Latour având sectiile conectate ca în figura A.20 și înfășurarea tip BBC având sectiile conectate ca în figura A.21.

Înfășurarile combinate trebuie să satisfacă condiția ca în conturul format de o secție a înfășurării buclate și o secție a înfășurării ondulate cu extremitățile aflate la un dublu pas polar, tensiunea indusă rezultantă să fie nulă. Acest contur îndeplinește rolul de legătură echipotentială de speta I pentru înfășurarea buclată simplă și rolul de conexiune echipotentială de speta a II-a pentru înfășurarea ondulantă multiplă de ordinul  $p$ .

Înfășurarile combinate au  $a = 2 \cdot p$  perechi de cai de curent.

## A.6 DOMENIUL DE APLICARE AL DIFERITELOR TIPURI DE ÎNFASURARI

Diferitele tipuri de înfășurări se deosebesc între ele prin numărul de cai de curent, de care depinde tensiunea indusă pe cale de curent din indus și curentul pe cale de curent. Numai înfășurarile buclate bipolare ( $p = 1$ ) sunt echivalente cu înfășurarile ondulate bipolare.

La o mașină electrică de construcție dată, numărul de conductoare  $N$  al înfășurării indusului este proporțional cu tensiunea indusă  $E$  și numărul de perechi de cai de curent  $a$ .

$$\left. \begin{aligned} E &= k_1 \cdot \Phi_E \cdot \Omega \\ k_1 &= \frac{p \cdot N}{2 \cdot \pi \cdot a} \end{aligned} \right\} \Rightarrow E = \frac{p \cdot N}{2 \cdot \pi \cdot a} \cdot \Phi_E \cdot \Omega \Rightarrow N \cdot \Phi_E \cdot \Omega = E \cdot 2 \cdot \pi \cdot a,$$

$$N \sim E, a, j = \frac{I_a}{A} \Rightarrow j \cdot A = I_a \Rightarrow A \sim I_a.$$

Aria sectiunii conductorului, fiind proportionala cu curentul pe cale de curent  $I_a = \frac{I}{2 \cdot a}$ , va fi invers proportionala cu numarul de perechi de cai de curent.

Prin urmare, la masinile electrice cu tensiuni joase la borne ( $\leq 500V$ ) si intensitati ridicate ale curentului rotoric (600 ÷ 1000)A se utilizeaza înfasurari buclate multiple, sau înfasurari combinate.

Înfasarile combinate prezinta deza avantajul utilizarii mai slabe a spatiului din crestatura.

În tabelul A.1 sunt grupate caracteristicile constructive ale înfasurarilor si se specifica domeniul principal de aplicare pentru fiecare tip de înfasurare.

Tabelul A.1 Caracteristicile constructive ale înfasurarilor tip indus de curent continuu.

Denumirea înfasurarii	Pasiide înfasurare			Numarul de cai de curent 2a	Conexiuni echipotentiale	Domeniul de aplicare
	y	y <sub>1</sub>	y <sub>2</sub>			
Înfasurare buclata simpla	$\begin{matrix} + \\ (-) \end{matrix} 1$	$\frac{K}{2p} \mp \varepsilon$	$y_1 - y$	2p	Necesita conexiuni de speta I	Masini de puteri mijlocii sau mari la tensiuni normale
Înfasurare buclata multipla	$\begin{matrix} + \\ (-) \end{matrix} m$	$\frac{K}{2p} \mp \varepsilon$	$y_1 - y$	2mp	Pentru $m = 2$ si $\frac{Z}{p} = \text{numar impar}$ necesita conexiuni de speta I. Pentru $m = 2$ si $\frac{Z}{p} = \text{numar par}$ necesita conexiuni echipotentiale de speta I si a II-a.	Masini de puteri mijlocii si tensiuni mici. Masini de puteri mari si de tensiuni normale
Înfasurare ondulata simpla	$\frac{K \mp 1}{p}$	$\frac{K}{2p} \mp \varepsilon$	$y - y_1$	2	Nu necesita	Masini de tensiuni normale si de puteri mici Masini de tensiuni înalte si puteri mijlocii
Înfasurare ondulata multipla	$\frac{K \mp m}{p}$	$\frac{K}{2p} \mp \varepsilon$	$y - y_1$	2m	Necesita conexiuni de speta a II-a	Masini de puteri mijlocii sau mari si tensiuni normale
Înfasurare combinata	$y_0 = \frac{K}{p} - 1$	$\frac{K}{2p} \mp \varepsilon$	$y_{20} = y_0 - y_{10}$	4p	Nu necesita	Masini de puteri mari si foarte mari si tensiuni înalte