

Anexa B

TIPURI DE ÎNFASURARI DE CURENT ALTERNATIV

B.1 ELEMENTE CONSTRUCTIVE SI CLASIFICAREA ÎNFASURARILOR DE CURENT ALTERNATIV

Înfasarile masinilor electrice de c.a. se realizeaza cu conductor de cupru sau aluminiu, izolat cu hârtie, bumbac (impregnat), email, fibre de sticla, micanita etc.

Elementele constructive ale unei înfasurari sunt: spira, latura de bobina, bobina si grupa de bobine (sau semigrupa de bobine).

O înfasurare a unei masini electrice este realizata din bobine, conectate în serie sau în paralel. Bobina este formata din una sau mai multe spire conectate în serie; spirele aceleiasi bobine sunt grupate împreuna si se aseaza, adesea, în aceleasi crestaturi.

Înfasurarea de c.a. polifazata este formata din m înfasurari distincte, fiecare fiind parcursa de unul din cei m curenti de faza. Înfasurarea de faza realizata cu una sau mai multe bobine pe perechea de poli având laturile de ducere, respectiv, de întoarcere, situate în aceleasi crestaturi, este denumita înfasurare concentrata.

Înfasurarea de faza, realizata cu doua sau mai multe bobine pe perechea de poli si asezate în crestaturi alaturate, este denumita înfasurare repartizata.

Bobinele aparținând aceleiasi înfasurari si care au laturile de sub un pol asezate în crestaturi alaturate, constituie o grupa de bobine.

Înfasarile se executa frecvent pentru armaturi prevazute cu crestaturi repartizate uniform. Se noteaza cu Z numarul total de crestaturi al armaturii unei masini, în care se aseaza o înfasurare cu m faze si p perechi de poli. Numarul de crestaturi pe pol si faza se noteaza cu q si rezulta din relatia:

$$q = \frac{Z}{2 \cdot m \cdot p} \quad (\text{B.1})$$

Se deosebesc înfășurări cu număr întreg de creștături pe pol și fază ($q = \text{număr întreg}$) și înfășurări cu număr fracțional de creștături pe pol și fază ($q = \text{număr fracțional}$). Înfășurările cu q fracțional se construiesc în cazul în care numărul de creștături pe pol și fază este redus, pentru a obține curbe ale tensiunii magnetice și ale t.e.m. mai favorabile.

Înfășurarea realizată cu câte o singură latură de bobină (de ducere sau de întoarcere) așezată într-o creștătură se numește „înfășurare într-un strat”; înfășurarea construită cu două laturi de bobină pe creștătură așezate suprapuse, dintre care una de ducere aparținând unei bobine, iar alta de întoarcere aparținând altei bobine, se numește „înfășurare în două straturi”.

Mai rar, se execută înfășurări parțial într-un strat și parțial în două straturi. Se pot construi și înfășurări în trei straturi, compuse din două înfășurări dintre care una într-un strat, iar alta în două straturi. La înfășurările în două straturi, spațiul în creștătură este mai slab utilizat decât în cazul înfășurărilor într-un strat; se preferă, însă, înfășurările în două straturi, deoarece acestea se realizează mai ușor și prezintă mai multe posibilități de reducere a armonicilor.

După deschiderea bobinelor se deosebesc:

- înfășurări cu bobine egale la care toate bobinele au aceeași deschidere; capetele de bobine ale acestor înfășurări sunt dispuse în două straturi în coroana, ca în figura B.1a);
- înfășurări cu bobine diferite, la care bobinele unei faze aparținând unui pol sau unei perechi de poli au deschideri diferite; capetele de bobină ale acestor înfășurări se dispun fie în etaje ca în figurile B.1 b) și c), fie în coroana de grupe de bobine.

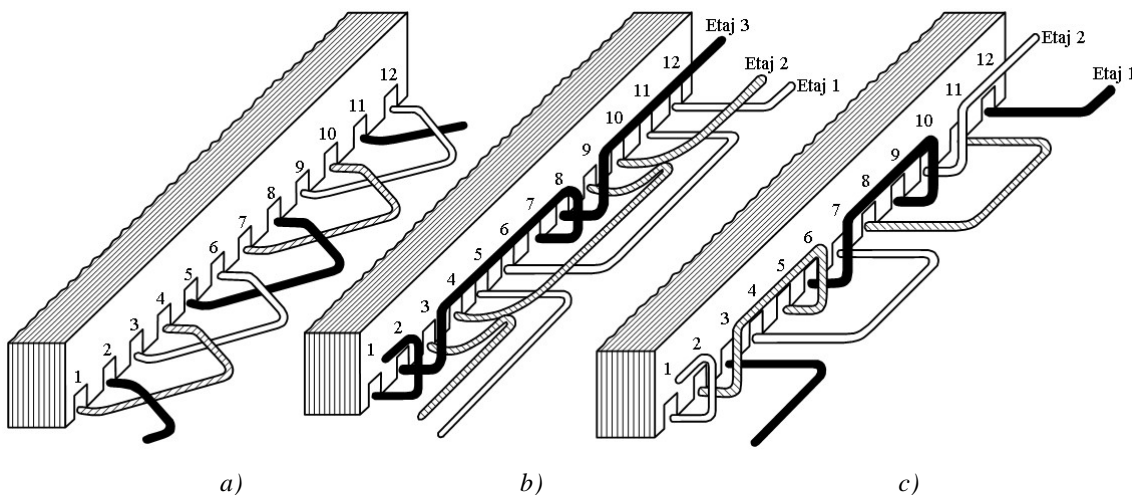


Figura B.1 Reprezentarea desfășurată a capetelor de bobine la înfășurarea într-un strat

Deschiderea bobinelor măsurată în numere de creștături este egală cu numărul de creștături cuprins între o latură de ducere și o latură de întoarcere și se numește pasul bobinei; la înfășurarea cu bobine egale, pasul unei bobine este, totodată, și pasul înfășurării și se notează cu y .

Înfasarile care au pasul bobinelor egal cu pasul polar

$$y = \frac{Z}{2 \cdot p} = y_d \quad (\text{B.2})$$

se numesc *înfasarari cu pas diametral*. Înfasarile care au pasul y diferit de pasul polar

$$y \neq \frac{Z}{2 \cdot p}, y < y_d \quad (\text{B.3})$$

se numesc *înfasarari cu pas scurtat*.

Dupa numarul de faze se deosebesc:

- înfasarari difazate, constituite din doua înfasarari monofazate decalate la periferia armaturii. Înfasarile difazate simetrice se compun din doua înfasarari monofazate identice si decalate între ele cu unghiul $\frac{1}{p} \cdot \frac{\pi}{2}$;
- înfasarari trifazate, constituite din trei înfasarari monofazate, conectate în stea, sau în triunghi. Înfasarile trifazate simetrice se compun din trei înfasarari monofazate identice si decalate între ele cu unghiul $\frac{1}{p} \cdot \frac{2 \cdot \pi}{3}$;
- înfasarari polifazate, cum sunt de exemplu, înfasarile în colivie.

B.2 CONDITIILE DE REALIZARE A ÎNFASURARILOR DE CURENT ALTERNATIV

Înfasarile de c.a. polifazate trebuie sa îndeplineasca urmatoarele conditii:

- a) Sa fie bobinate pentru numarul de faze si numarul de poli dat (la tensiunea si curentul nominal);
- b) Sa fie simetrice în raport cu fazele, adica fundamentalele t.e.m. înduse pe faza sa fie egale în modul si defazate între ele cu unghiul $\frac{2 \cdot \pi}{m}$, formând astfel un sistem polifazat simetric de tensiuni; curbele t.e.m., respectiv curba câmpului magnetic în întrefier sa fie cât mai aproape de o unda sinusoidala.

La o masina electrica, înfasarile de faza au adesea o constructie identica sau cât mai apropiata, iar axele lor de simetrie sunt decalate cu unghiul $\frac{2 \cdot \pi}{m \cdot p}$ la periferia masinii.

Înfasarile cu numar întreg de crestaturi pe pol si faza, multipolare, se deduc din înfasarile bipolare prin repetarea de p ori a înfasarii bipolare. La înfasarile cu numar fractionar de crestaturi pe pol si faza, înfasarile multipolare se deduc prin repetarea unei înfasarari

cu $\frac{p}{t}$ perechi de poli, în care t este câțul dintre numărul de perechi de poli p și numitorul părții fracționare a numărului de creștături q ;

c) Să fie realizabile tehnic. La înfășurările trifazate cu p perechi de poli și Z creștături, începuturile înfășurarilor de fază au pasul:

$$y_f = 2 \cdot q + 6 \cdot k \cdot q, \quad (\text{B.3})$$

unde: $k = 0, 1, 2, \dots, 2p$.

Prin urmare trebuie ca:

$$y_f = \frac{Z}{m \cdot p} + 3 \cdot k \cdot \frac{Z}{m \cdot p} = \text{număr întreg}$$

sau la înfășurările trifazate

$$y_f = \frac{Z}{3 \cdot p} + k \cdot \frac{Z}{p} = \text{număr întreg}$$

Dacă toate bobinele aparținând unei înfășurări de fază sunt conectate în serie, se obține o înfășurare cu o cale de curent. Prin conectarea în paralel a două sau mai multe porțiuni de înfășurare în care se induce t.e.m. egale și în fază, se obține o înfășurare cu două sau mai multe cai de curent; aceasta constituie o condiție restrictivă suplimentară de realizare a înfășurarilor de c.a.

B.3 STEAUA CRESTATURILOR SI DIAGRAMA DE FAZORI

Fiecarei creștături a armaturii îi corespunde un fazor al t.e.m. egal cu t.e.m. indusă în bobina înfășurării în inel. Tensiunile electromotoare induse în laturile de bobina sunt defazate între ele cu unghiul

$$\gamma = \frac{2 \cdot \pi \cdot p}{Z}, \quad (\text{B.4})$$

deoarece la o rotație completă a câmpului învârtitor cu p perechi de poli, îi corespund p perioade ale unei t.e.m. induse.

Prin reprezentarea în planul complex a fazorilor fundamentalelor t.e.m. induse în laturile de bobina se obține o diagramă de fazori, numită steaua creștaturilor.

La înfășurările cu bobine egale, se reprezintă grafic fazorii t.e.m. induse în bobine, defazați cu același unghi γ .

Prin compunerea fazorilor t.e.m. induse în bobinele dintr-o cale de curent a unei faze, se obține fazorul t.e.m. induse pe fază; procedând astfel pentru fiecare înfășurare de fază, se obțin m fazori care reprezintă diagrama fazorilor t.e.m. induse în înfășurare.

B.4 ÎNFASURARI ÎNTR-UN STRAT CU NUMAR ÎNTREG DE CRESTATURI PE POL SI FAZA

În fiecare crestatura se aseaza o latura de bobina: numarul total de bobine N_b este:

$$N_b = \frac{Z}{2}. \quad (\text{B.5})$$

Numarul de bobine pe faza trebuie sa fie un numar întreg:

$$N_{bf} = \frac{Z}{2 \cdot m} = \text{numar întreg.}$$

Prin urmare, numarul de crestaturi trebuie sa fie divizibil cu dublul numarului de faze, pentru a rezulta m înfasurari de faza cu câte N_{bf} bobine.

APLICATII

1. Se cere sa se construiasca schema desfasurata pentru o înfasurare trifazata ($m = 3$), în trei etaje, bipolară ($p = 1$), având $q = 4$ crestaturi pe pol si faza, iar capetele de bobina asezate în trei etaje formate de semigrupe de bobine.

SOLUTIE:

La dispunerea capetelor de bobina în trei etaje, fiecare faza ocupa câte un etaj. Numarul total de crestaturi este:

$$Z = 2 \cdot m \cdot p \cdot q = 2 \cdot 3 \cdot 1 \cdot 4 = 24.$$

Pasul diametral al înfasurarii este:

$$y_d = \frac{Z}{2 \cdot p} = \frac{24}{2} = 12.$$

În figura B.2, s-a reprezentat partial înfasurarea cu doua cai de curent.

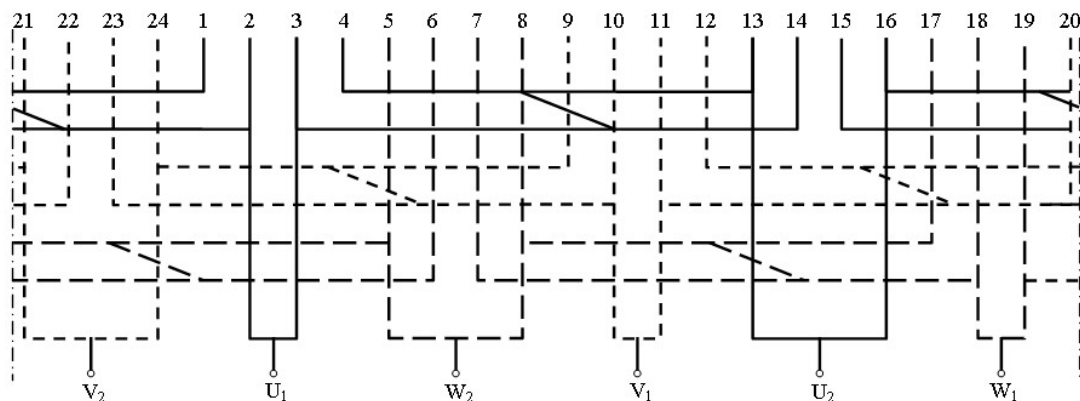


Figura B.2 Înfasurare trifazata bipolară cu doua cai de curent

Daca faza $U_1 - U_2$ cuprinde laturile de bobina 1, 2, 3, 4, atunci ea mai cuprinde si laturile $1 + 12 = 13$, $2 + 12 = 14$, $3 + 12 = 15$ si $4 + 12 = 16$. Deoarece este indiferenta succesiunea laturilor de bobina în circuitul înfășurării, daca se pastreaza sensul lor de parcurgere, legaturile frontale între capetele de bobina se efectueaza astfel încât lungimea lor sa rezulte cât mai scurta, iar înfășurarea sa se poata realiza.

Începutul fazei $U_1 - U_2$ se poate alege într-una din crestaturile 1, 2, 3, 4; în figura B.2, începutul înfășurării marcat cu litera U_1 s-a considerat în crestatura 3.

Cele doua semigrupe de bobine ale aceleiasi faze pot fi conectate în serie, rezultând astfel o cale de curent, sau în paralel pentru a obtine o înfășurare cu doua cai de curent, ca în figura B.2.

Faza $V_1 - V_2$ are începutul decalat fata de faza $U_1 - U_2$ cu pasul $y_f = 2 \cdot q = 8$, adica în crestatura $3 + 8 = 11$ (daca se considera $k = 0$); capetele de bobina ale acestei înfășurari au fost asezate în etajul urmator. Schema desfasurata a acestei înfășurari este identica cu schema fazei $U_1 - U_2$; bobinele fazei $V_1 - V_2$ sunt asezate în crestaturile 12 - 21, 11 - 22, 10 - 23, 9 - 24.

Faza $W_1 - W_2$ are începutul decalat fata de faza $V_1 - V_2$ cu pasul $y_f = 8$, adica în crestatura $11 + 8 = 19$ si bobinele sunt asezate în crestaturile 20 - 5, 19 - 6, 18 - 7, 17 - 8.

În figura B.3 este reprezentata steaua crestaturilor. Defazajul dintre doua faze este:

$$\gamma = \frac{p \cdot 360^\circ}{Z} = \frac{360}{24} = 15^\circ$$

În figura B.4 a fost reprezentata curba tensiunii magnetice.

Sensurile curentilor prin înfășurare, precum si curba tensiunii magnetice $V(x)$ din figura B.3, corespund momentului în care curentul este maxim si pozitiv prin faza $U_1 - U_2$, iar fazele $V_1 - V_2$ si $W_1 - W_2$ curentul este negativ si de valoare egala cu jumatate din valoarea maxima.

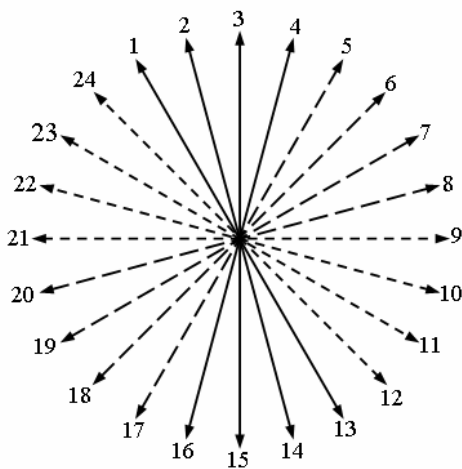


Figura B.3

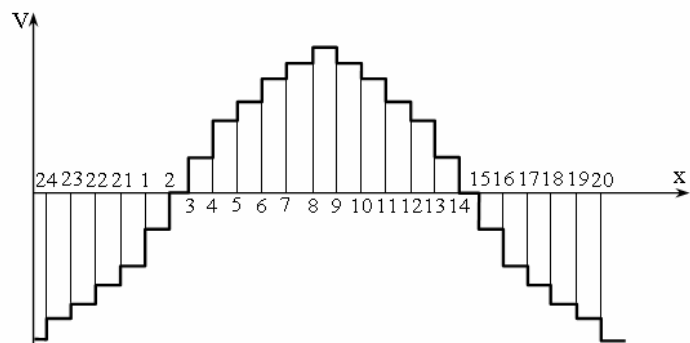


Figura B.4

Deoarece succesiunea de înscriere a laturilor de bobina nu prezintă importanță asupra t.e.m. induse, dacă se menține sensul de înfasurare, înfasurarea este echivalentă cu o înfasurare cu pas diametral.

Înfășurări trifazate în două etaje

La înfasurările în două etaje, capetele de bobina ale fazelor sunt așezate după două suprafețe de revoluție (figura B.1, c); în același etaj sunt așezate capete de bobine aparținând la faze diferite.

La înfasurările cu capetele de bobine așezate în două etaje, numărul de grupe de bobine $N_{gr,bob}$ trebuie să fie divizibil cu numărul de etaje (2), adică:

$$\frac{1}{2} \cdot N_{gr,bob} = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{Z}{2 \cdot q} \right) = \frac{m \cdot p}{2} = \text{număr întreg}$$

La înfasurările trifazate, numărul de faze este $m = 3$ și prin urmare, numărul de perechi de poli p trebuie să fie un număr par.

APLICATII

1. Se cere să se construiască schema desfășurată pentru o înfasurare trifazată tetrapolară, în două etaje cu o cale de curent și având $q = 2$ creștături pe pol și fază.

SOLUȚIE:

Numărul de creștături se determină utilizând relația:

$$Z = 2 \cdot m \cdot p \cdot q = 2 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 2 = 24,$$

iar pasul diametral al înfasurării este:

$$y_d = \frac{Z}{2 \cdot p} = \frac{24}{2 \cdot 2} = 6.$$

Înfășurarea este reprezentată în figura B.5 a. Dacă începutul fazei $U_1 - U_2$ se află în creștatura 1, începutul fazei $V_1 - V_2$ se află în creștatura decalată față de creștatura 1, cu pasul:

$$y_f = 2 \cdot q + 6 \cdot k \cdot q = \begin{cases} 4, & \text{pentru } k = 0 \\ 16, & \text{pentru } k = 1 \end{cases},$$

adică în creștatura $1 + 4 = 5$ sau $1 + 16 = 17$. În figura B.5 s-a considerat începutul fazei $V_1 - V_2$ în creștatura 5, iar începutul fazei $W_1 - W_2$ în creștatura $5 + 4 = 9$.

Din schema desfășurată a înfasurării rezultă că înfasurarea este simetrică în raport cu fazele; fiecare fază este compusă din bobine care se închid atât în etajul 1, cât și în etajul 2.

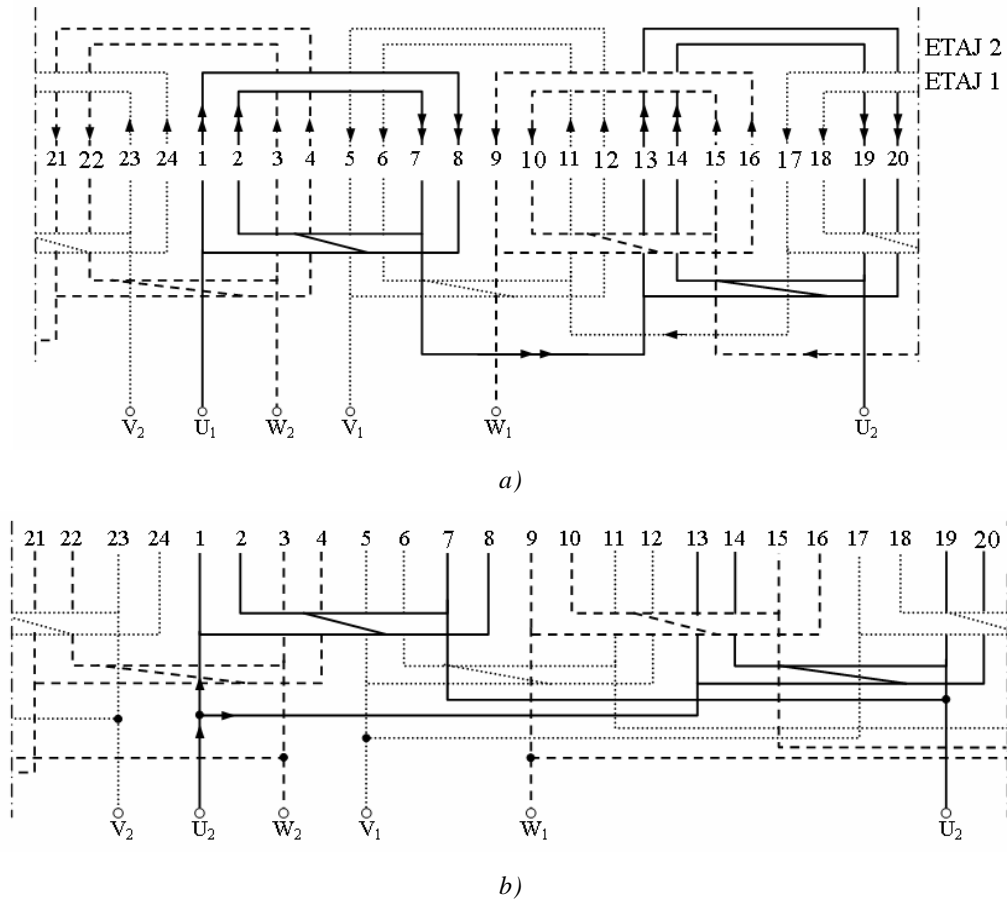


Figura B.5 Înfășurare trifazată $p = 2, q = 2$; a) o cale de curent; b) doua cai de curent.

Dacă prin dispunerea capetelor de bobina în cele două etaje se asigură aceiași parametri electrici ai grupelor de bobine din etaje diferite, grupele de bobina se pot conecta și în paralel, rezultând astfel o înfășurare cu p cai de curent. În acest caz, legăturile frontale se efectuează ca în figura B.5, b.

Defazajul între două raze din steaua creștaturilor este:

$$\gamma = \frac{p \cdot 360^\circ}{Z} = \frac{2 \cdot 360}{24} = 30^\circ.$$

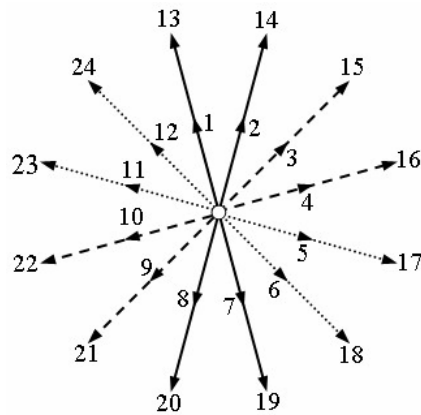


Figura B.6 Steaua creștaturilor la înfășurarea din figura B.5.

Steaua crestaturilor are:

$$\frac{360^\circ}{\gamma} = \frac{Z}{p} = \frac{24}{2} = 12,$$

raze distincte. În figura B. 6 este reprezentata steaua crestaturilor.

Factorul de înfasurare ale acestei înfasurari se determina ca în cazul înfasurarilor repartizate cu pas diametral.

Înfasurari într-un strat cu capetele de bobina dispuse în coroana

La înfasurarile într-un strat cu bobine egale, capetele de bobina pot fi dispuse în coroana de bobine ca în figura B.1 și se construiesc și înfasurari cu bobine îmbratisate având capetele de bobina asezate în coroana de grupe de bobine.

Înfasarile cu capetele de bobine dispuse în coroana de grupe de bobine prezinta avantajul unei raciri mai bune, prin faptul ca la acestea rezulta spatii libere mai mari în zona capetelor de bobine, prin care circula aerul de racire.

APLICATII

1. Se cere sa se construiasca schema desfasurata pentru o înfasurare trifazata într-un strat, având $p = 2$ perechi de poli și $q = 2$ crestaturi pe pol și faza cu capetele de bobina dispuse în coroana, cu o cale de curent.

SOLUTIE:

În figura B.7 s-a reprezentat schema înfasurarii cu capetele de bobina dispuse în coroana de bobine. În figura B.8, capetele de bobina sunt dispuse în coroana de grupe de bobine. Factorul de înfasurare al fundamentalei este:

$$k_{w1} = k_{q1} = \frac{\sin 2 \cdot \frac{30^\circ}{2}}{2 \cdot \sin \frac{30^\circ}{2}} = 0,9659.$$

Înfasarile reprezentate în figura B. 7 și figura B. 8 au aceleasi caracteristici functionale ca înfasurarea din figura B.5.

Înfășurari cu intercalarea fazelor

La înfășurările într-un strat, se poate efectua intercalarea fazelor, pentru reducerea armonicilor din curba tensiunii magnetice, respectiv din curba t.e.m. induse în înfășurare.

Avantajul înfășururilor cu intercalarea fazelor consta în faptul ca acestea prezinta armonici mai reduse.

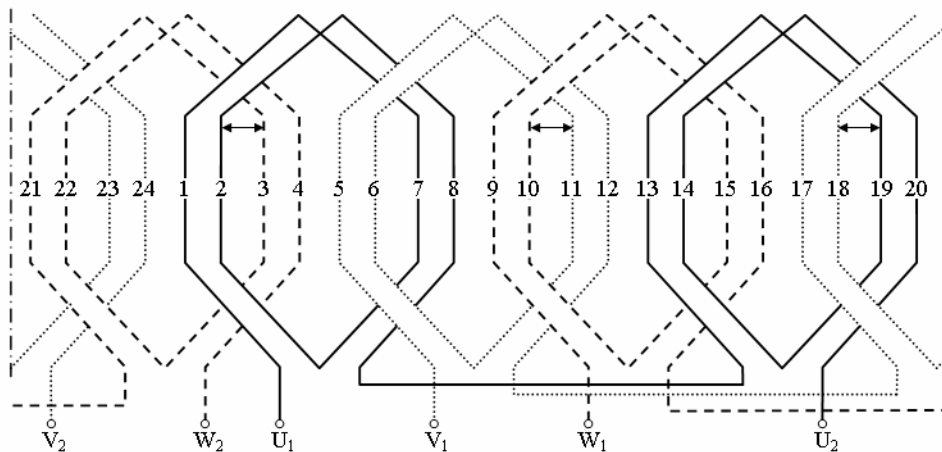


Figura B. 7 Înfasurare în coroana de bobine, având $m = 3$, $p = 2$, $q = 2$.

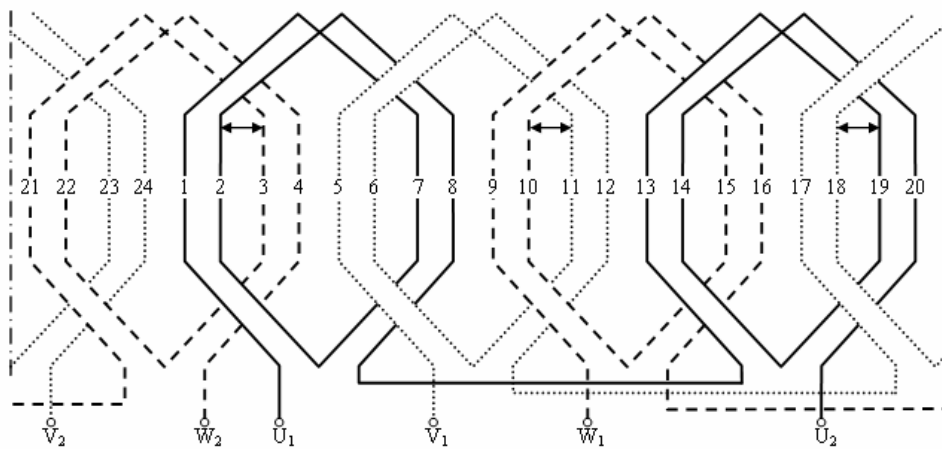


Figura B. 8 Înfasurare în coroana de grupe de bobine, având $m = 3$, $p = 2$, $q = 2$.

B.5 ÎNFĂȘURARI ÎNTR-UN STRAT CU NUMAR FRACTIONAR DE CRESTATURI PE POL SI FAZA

Înfășurările într-un strat se pot executa cu un numar fractionar de crestături pe pol si faza; numarul de bobine pe faza, trebuie sa fie un numar întreg: $N_{br} = p \cdot q = \text{numar întreg}$. Aceasta conditie este îndeplinita daca numitorul partii fractionare a lui q este unul din divizorii lui p .

Este posibil sa se construiasca înfasurarea, astfel încât tensiunile electromotoare induse pe faza sa fie defazate între ele cu unghiul $\frac{2 \cdot \pi}{m}$, daca numarul de raze distincte din steaua crestaturilor este divizibil cu numarul de faze. Numarul de raze distincte $\frac{Z}{t}$ (în care t este cel mai mare divizor comun al numarului de crestaturi Z si al numarului de perechi de poli p), rezulta din conditia:

$$y_f = 2 \cdot a + 6 \cdot k \cdot a + \frac{2 + 6 \cdot k}{c} \cdot b = \text{numar întreg}$$

Se observa, de exemplu, ca pentru $c = \text{multiplu de } 3$, aceasta conditie nu poate fi îndeplinita.

APLICATII

1. Se cere sa se construiasca sche ma desfasurata a unei înfasurari într-un strat, în doua etaje, cu numar fractionar de crestaturi pe pol si faza, având $m = 3$, $p = 2$ si $q = \frac{5}{2}$.

SOLUTIE:

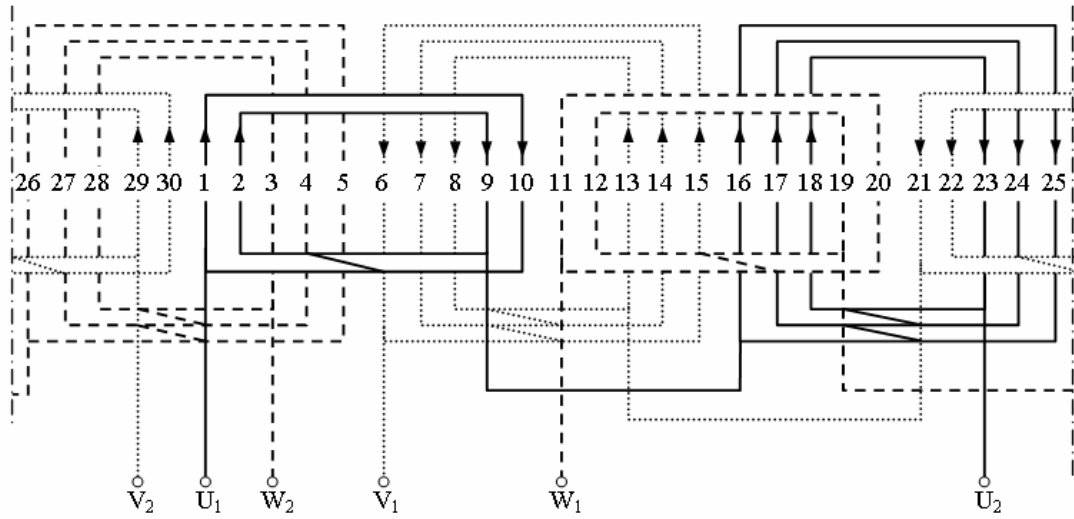
Numarul total de crestaturi este:

$$Z = 2 \cdot m \cdot p \cdot q = \frac{2 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 5}{2} = 30.$$

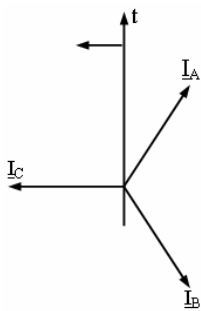
Numarul de bobine pe faza este $N_{bf} = \frac{Z}{2 \cdot m} = 5$; acest numar de bobine se repartizeaza în doua grupe de bobine si anume: trei într-o grupa si doua în alta grupa. Într-un etaj, se dispun grupele de câte trei bobine, iar în celalalt etaj, grupele de câte doua bobine. Numarul de raze distincte $\frac{Z}{t} = 15$ este divizibil cu numarul de faze $m = 3$.

În figura B.10 s-a reprezentat schema desfasurata si curba tensiunii magnetice în momentul în care curentul prin faza $V_1 - V_2$ este egal si de semn contrar cu cel prin faza $U_1 - U_2$, iar curentul prin faza $W_1 - W_2$ este nul; în figura B.10, b este desenata diagrama de fazori a curentilor si axa timpului corespunzatoare momentului considerat.

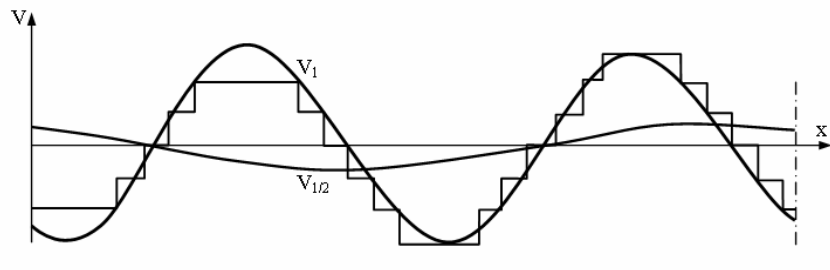
Odata cu fundamentala si armonicile superioare, mai apar în curba tensiunii magnetice $V(x)$ si subarmonicile de perioada egala cu dublul pasului polar, datorita numarului fractionar de crestaturi pe pol si faza.



a) schema defasurata

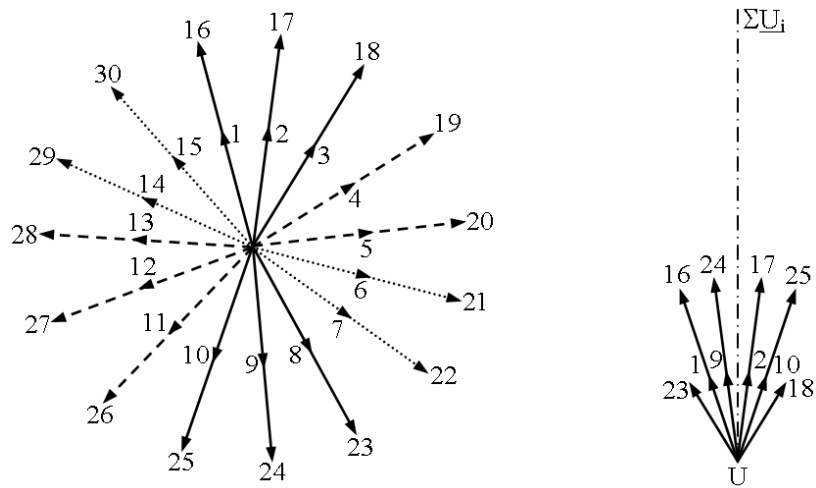


b) diagrama curentilor

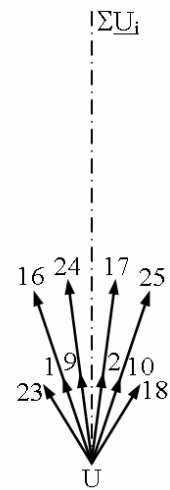


c) curba tensiunii magnetice

Figura B. 10 Înfășurare într-un strat cu $m = 3, p = 2, q = 2\frac{1}{2}$.



a) steaua crestaturilor



b) diagrama de fazori

Figura B. 11

În figura B.10 c s-a reprezentat curba tensiunii magnetice, fundamentala V_1 , iar în figura B.11 s-a reprezentat steaua crestaturilor și fascicolul de fazori al unei faze; defazajul dintre două raze în steaua crestaturilor este:

$$\gamma = \frac{p \cdot 360^\circ}{Z} = \frac{2 \cdot 360}{30} = 24^\circ.$$

Factorul de înfasurare al fundamentalei se calculează din figura B.11, b și rezultă:

$$k_{wl} = \frac{\left| \sum_{i=1}^{10} \underline{U}_i \right|}{\sum_{i=1}^{10} \underline{U}_i} = \frac{4 \cdot U \cdot \cos 6^\circ + 4 \cdot U \cdot \cos 18^\circ + 2 \cdot U \cdot \cos 30^\circ}{10 \cdot U} = 0,9514,$$

în care \underline{U}_i este fazonul t.e.m. induse într-o latură de bobină a unei faze.

B.6 ÎNFASURARI ÎN DOUA STRATURI CU q ÎNTREG

Capetele de bobină ale înfasurării se dispun în coroana de bobine. Înfasurările în două straturi se execută cu bobine identice. În fiecare crestatură se așază două laturi de bobină: o latură de ducere aparținând unei bobine și o latură de întoarcere, aparținând altei bobine. Numărul bobinelor N_b este egal cu numărul de crestături Z , iar numărul de bobine pe fază este dat de:

$$N_{bf} = \frac{Z}{m} = \text{număr întreg}$$

Prin urmare, la aceste înfasurări numărul de crestături trebuie să fie divizibil cu numărul de faze.

Înfasurările în două straturi se pot executa cu una, două, trei sau mai multe cai de curent în paralel, cu pasul diametral sau cu pasul scurtat, cu extinderea parțială sau totală a zonelor, cu sau fără intercalarea fazelor; aceste tipuri constructive sunt folosite în construcția mașinilor electrice, în scopul reducerii armonicilor. Procesul tehnologic de execuție al acestor înfasurări este mai simplu și posibilitățile de micșorare a armonicilor cresc.

Înfasurările în două straturi se pot executa cu q întreg sau cu q fracționar.

La înfasurările în două straturi cu bobine egale, steaua crestaturilor este, de fapt, diagrama de fazori a t.e.m. induse în bobine.

Înfasurarea cu pas diametral

Înfasurările în două straturi cu pas diametral sunt înfasurări cu șase zone dintr-un strat, aparținând la o fază.

Pasul înfasurării este dat de relația:

$$y = \frac{Z}{2 \cdot p} = \frac{2 \cdot m \cdot p \cdot q}{2 \cdot p} = m \cdot q = \text{numar întreg}$$

APLICATII

1. Se cere sa se construiasca schema desfasurata pentru o înfasurare trifazata, în doua straturi, având $p = 1$, $q = 3$.

SOLUTIE:

Numarul de crestaturi fiind $Z = 2 \cdot m \cdot p \cdot q = 18$, rezulta numarul de bobine pe faza.

$$N_{bf} = \frac{Z}{m} = 2 \cdot p \cdot q = 6.$$

Pasul înfasurarii este:

$$y = \frac{Z}{2 \cdot p} = m \cdot q = 9 \text{ crestaturi.}$$

Grupele de bobine ale unei faze se pot conecta în serie (la înfasurarea cu o cale de curent), sau în paralel (la înfasurarea cu 2 cai de curent).

La înfasurarea bipolară cu o cale de curent, cele doua grupe de bobine care se succed la periferia armaturii si apartin aceleiasi faze sunt situate la un pas polar si se conecteaza în circuitul înfasurarii în opozitie, pentru a se însuma solenatiile în crestatura, respectiv sub acelasi pol. Bobinele cu mai multe spire au forma unor bucle; de aici provine si numele de înfasurare buclata.

În figura B. 12 s-a reprezentat schema desfasurata a înfasurarii cu o cale de curent, steaua crestaturilor si diagrama de fazori. Faza $U_1 - U_2$ cuprinde grupa de bobine 1 - 10, 2 - 11, 3 - 12, conectata în opozitie cu grupa 11 - 2 si 12 - 3. În diagrama de fazori t.e.m. induse în bobinele conectate în opozitie au fost marcate cu semnul minus (-).

O înfasurare multipolară cu p perechi de poli se obtine din înfasurarea de mai sus, prin repetarea sa de p ori.

Înfasarile cu o singura spira pe bobina au, în general, conductorul realizat din bara conductoare; aceste înfasurari se numesc înfasurari în bare sau înfasurari ondulate si executia se poate efectua dupa scheme prin care se scurteaza si, în parte, se evita legaturile frontale între diferitele bobine, apartinând aceleiasi faze. Bobinele acestor înfasurari au forma unor ondulate; de la aceasta forma a bobinelor provine si numele de înfasurare ondulate.

Înfășurarea cu pas scurtat

Scurtarea pasului se alege potrivit pentru reducerea armonicilor, îndeosebi a armonicilor 5 și 7, din unda tensiunii magnetice, respectiv t.e.m.. Un efect favorabil se obține prin scurtarea pasului în raportul:

$$\frac{y}{\frac{Z}{2p}} = (0,82 \div 0,83) .$$

Pentru a realiza acest raport favorabil, numărul de creștături pe pol și faza trebuie să aibă numai anumite valori.

De exemplu, pentru $q = 2$ și $m = 3$, pasul diametral rezultă $y_d = m \cdot q = 6$; prin alegerea pasului bobinelor $y = 5$, rezultă raportul favorabil $\frac{y}{y_d} = \frac{5}{6} = 0,833$.

În cazul în care $q = 3$ și $m = 3$, pasul diametral fiind $y_d = 9$, iar pașii posibili ai înfășurării $y = 8$ sau 7 , rezultă pentru raportul $\frac{y}{y_d} = \frac{8}{9}$ sau $\frac{7}{9}$ (adică valorile 0,889 respectiv 0,778).

Prin urmare, în acest caz, înfășurarea nu se poate executa cu un pas favorabil pentru reducerea ambelor armonici de ordinul 5 și 7.

La înfășurările cu pas scurtat se reduce consumul de material conductor pentru înfășurări, deoarece se reduce lungimea capetelor de bobina; crește, însă, numărul de spire pentru compensarea scaderii de tensiune datorită micșorării factorului de înfășurare. Se poate determina din aceste condiții o scurtare optimă în ceea ce privește consumul de material.

Un alt efect al scurtării constă în reducerea reactanței de dispersie a înfășurării, prin faptul că în unele creștături sunt așezate laturi de bobine aparținând la faze diferite; solenatia rezultantă pe creștatura este mai redusă și scade, în acest fel, fluxul de dispersie din creștatura. O reducere rezultă și pentru reactanța porțiunii frontale de înfășurare, prin faptul că se reduce suprafața prin care se închide câmpul magnetic de dispersie frontal.

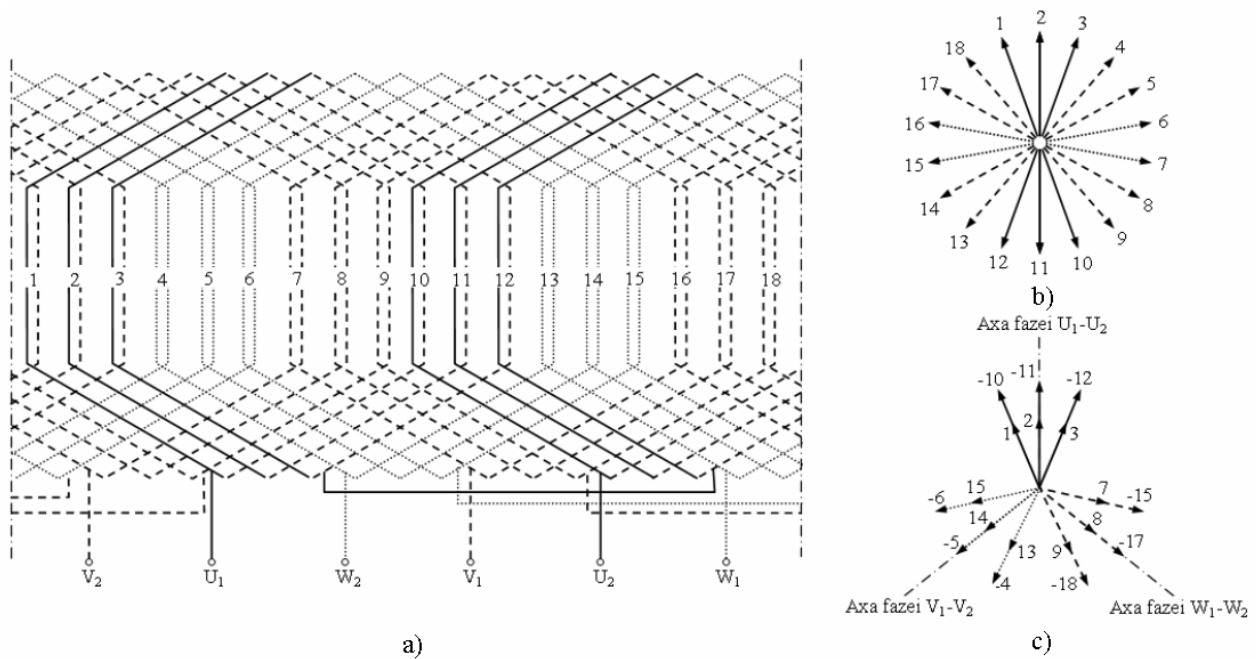


Figura B.12 Înfășurare diametrală în două straturi având $m = 3$, $p = 1$, $q = 3$;
 a) schema desfășurată; b) steaua creșturilor; c) diagrama de fazori.

APLICATII

1. Se cere să se construiască schema desfășurată pentru o înfășurare trifazată, în două straturi cu număr fracțional de creșturi pe pol și fază, având $p = 2$ și $q = \frac{5}{4}$.

SOLUTIE:

Numărul de creșturi este $Z = 2 \cdot m \cdot p \cdot q = 15$. Numărul de bobine pe fază este $N_{bf} = \frac{Z}{m} = 5$. Numărul de raze distincte în steaua creșturilor este egal cu numărul creșturilor $Z = 15$. Pasul diametral $y = \frac{Z}{2 \cdot p} = 3 \cdot \frac{3}{4}$ fiind fracțional, înfășurarea se poate executa numai cu pas scurtat și anume $y = 3$ sau 4 . Fie, de exemplu, $y = 3$. Pasul începuturilor înfășurărilor de fază, dat de relația (B. 3), este:

$$y_f = 2 \cdot \frac{1}{2} \text{ pentru } k = 0;$$

$$y_f = 10 \text{ pentru } k = 1.$$

Prima soluție nu se poate aplica, deoarece pasul începuturilor înfășurărilor de fază trebuie să fie un număr întreg. Prin urmare, se consideră cea de a doua soluție $y_f = 10$. Cele $N_{bf} = 5$ bobine pe fază se prezintă astfel: două sub un pol și câte una sub ceilalți trei poli. În figura B. 15 este reprezentată schema desfășurată a înfășurării împreună cu diagrama de fazori. Din diagrama de

fazori rezulta ca prin legarea în serie a bobinelor 1 – 4, 2 – 5 si 9 – 12 si conectarea în opozitie a bobinelor 5 – 8 si 13 – 1, tensiunea electromotoare indusa în faza $U_1 - U_2$ este maxima; t.e.m. induse pe faze formeaza un sistem trifazat simetric.

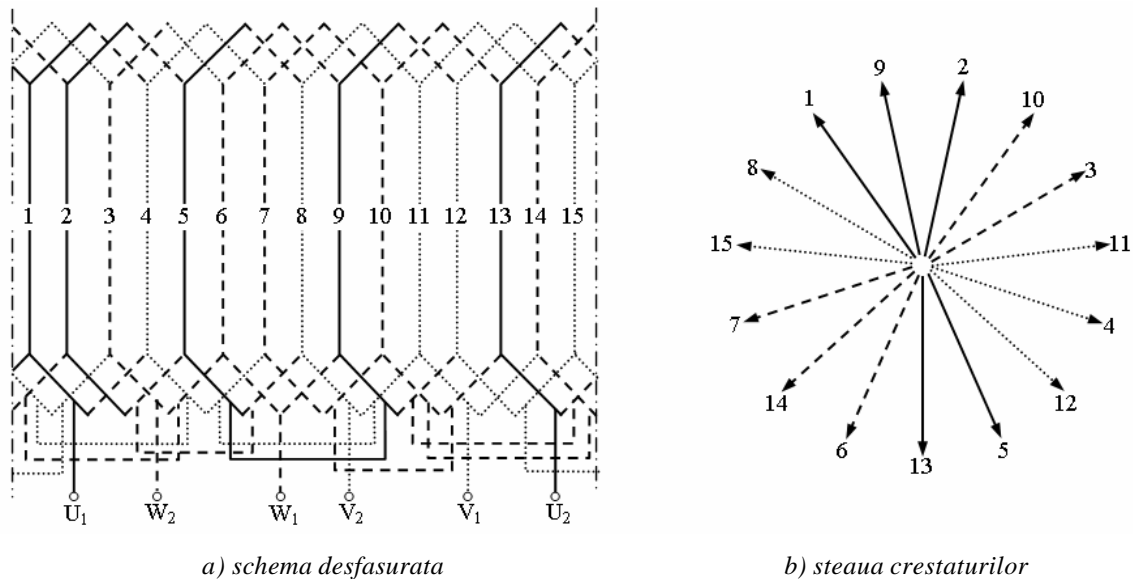


Figura B. 15 Înfășurare în doua straturi cu numar fractionar de crestaturi pe pol si faza, având $Z = 15, p = 2, z = 3$.

Alte tipuri de înfășurari în doua straturi. În exemplele de mai sus s-au avut în vedere numai înfășurarile simetrice trifazate, cu bobine identice (cu același număr de spire) care echepeaza armaturile crestate uniforme; s-a presupus totodata ca înfășurarile sunt repartizate uniform și ocupa în mod egal toate crestaturile.

Înfășurarile monofazate se executa la fel ca înfășurarile trifazate; înfășurarile monofazate ocupa numai $2/3$ din numărul crestaturilor.

Înfășurarile difazate se compun din doua înfășurari monofazate, decalate între ele cu unghiul electric de 90° .

Se executa adesea și înfășurari sinusoidale cu bobine având numere de spire diferite, în scopul obtinerii unei unde a tensiunii magnetice cât mai apropiata de o sinusoida; în acest scop, numărul de spire variaza de la o crestatura la alta, având o distributie sinusoidala în intervalul unui dublu pas polar.

Se construiesc uneori înfășurari de c.a. speciale, care permit schimbarea numărului de poli, înfășurari care permit automatizarea procesului tehnologic de executie, înfășurari cu bobinarea partiala a armaturilor (la care anumite crestaturi sunt ocupate numai partial sau sunt libere).

B.8 ÎNFASURARI ÎN COLIVIE

În forma cea mai simplă, o înfasurare în colivie se compune din bare conductoare neizolate, așezate în creștături și conectate între ele frontal, de-o parte și de alta a armaturii, prin intermediul a două inele conductoare. Numărul de bare este egal cu un multiplu al numărului de creștături. În figura B.16 este reprezentată o înfasurare în colivie simplă (cu o bară pe creștătura). Numărul de poli ai înfasurării în colivie este determinat de înfasurarea inductoare.

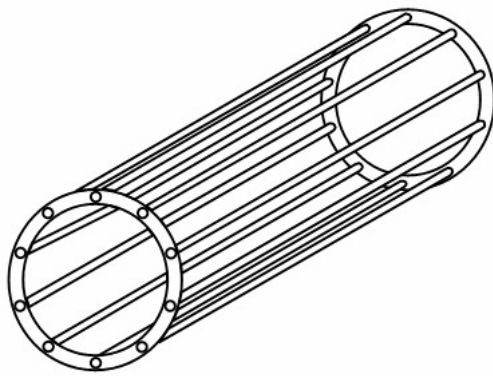


Figura B.16 Înfășurare în colivie

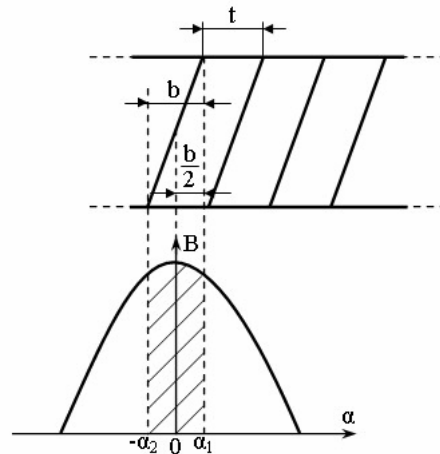


Figura B.17 Explicativa pentru calculul factorului k_i

T.e.m. induse în circuitele barelor sunt defazate între ele cu unghiul $\gamma = \frac{(360^\circ \cdot p)}{Z}$, Z fiind numărul de creștături și formează un sistem polifazat simetric; în cazul în care numerele Z și p sunt prime între ele, atunci numărul de raze distincte în steaua creștăturilor este egal cu numărul de creștături Z , iar înfasurarea se consideră polifazată cu $m = Z$ faze. De altfel și în cazul particular când Z și p admit un divizor comun (t fiind cel mai mare divizor comun), iar numărul razelor distincte este $\frac{Z}{t}$, înfasurarea în colivie se consideră, de asemenea, ca având $m = Z$ faze.

Înfășurările în colivie se pot executa cu bare înclinate în scopul reducerii armonicilor de ordinul $v = \left(\frac{k \cdot Z}{p} \right) \pm 1$; de observat că factorii de scurtare și factorul de repartizare corespunzatori acestor armonici, au aceeași valoare ca și pentru fundamentală:

$$k_{qv} \left| \begin{array}{l} v = \frac{k \cdot Z}{p} \pm 1 \end{array} \right. = \frac{\sin \left(\frac{k \cdot Z}{p} \pm 1 \right) \cdot \frac{\pi}{m}}{q \cdot \sin \left(\frac{k \cdot Z}{p} \pm 1 \right) \cdot \frac{\pi}{m \cdot q}} = \frac{\sin \frac{\pi}{m}}{q \cdot \sin \frac{\pi}{m \cdot q}} = k_{qt}$$

$$k_{sv} \left| v = \frac{k \cdot Z}{p} \pm 1 = \sin \left(k \cdot \frac{Z}{p} \pm 1 \right) \cdot \frac{y}{\tau} \cdot \frac{\pi}{2} = \sin \left(k \cdot \frac{Z}{p} \cdot \frac{y}{\tau} \cdot \frac{\pi}{2} \pm \frac{y}{\tau} \cdot \frac{\pi}{2} \right) \right|$$

ținând seama ca:

$$\frac{y}{\tau} = \frac{y}{\frac{Z}{2 \cdot p}},$$

factorul de scurtare al armonicilor $v = \frac{k \cdot Z}{p} \pm 1$ are valoarea data de relatia urmatoare:

$$\left| k_{s, \frac{k \cdot Z}{p} \pm 1} \right| = \left| \sin \left(k \cdot y \cdot \pi \pm \frac{y}{\tau} \cdot \frac{\pi}{2} \right) \right| = |k_{sl}|$$

oricare ar fi pasul bobinei.

Factorul de înclinare. În figura B.17 s-a reprezentat o portiune de înfasurare în colivie asezata în crestaturi înclinate. Tensiunea electromotoare în circuitul unei bare are valoarea maxima:

$$U_{sl} = v \cdot l_1 \cdot \frac{1}{2 \cdot \alpha_1} \cdot \int_{-\alpha_1}^{\alpha_1} B_\delta \cdot \cos \alpha d\alpha = v \cdot l_1 \cdot B_\delta \cdot \frac{\sin \alpha_1}{\alpha_1},$$

unde: $2 \cdot \alpha_1 = \frac{b}{t} \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot p}{Z};$

- v – viteza relativa dintre colivie si câmp;
- t – pasul crestaturii;
- Z – numarul de crestaturi al armaturii.

În absenta înclinării tensiunea indusa este:

$$U_e = v \cdot l_1 \cdot B_\delta, \quad k_{i1} = \frac{U_{el}}{U_e} = \frac{\sin \alpha_1}{\alpha_1}, \quad (B. 11)$$

$$k_{i1} = \frac{\sin \frac{b}{t} \cdot \frac{\pi \cdot p}{Z}}{\frac{b}{t} \cdot \frac{\pi \cdot p}{Z}},$$

iar factorul sau este denumit factorul de inclinare al fundamentalei. În cazul unei armonici v oarecare, factorul de înclinare k_{iv} este:

$$k_{iv} = \frac{\sin v \cdot \frac{b}{t} \cdot \frac{p \cdot \pi}{Z}}{v \cdot \frac{b}{t} \cdot \frac{p \cdot \pi}{Z}}. \quad (B. 12)$$

La armatura cu crestaturi înclinate factorul de înclinare este subunitar. Înclinarea $\frac{b}{t}$ a crestaturilor se determina din conditia ca factorul k_{iv} al unei anumite armonici sa se anuleze.