

# Bobinaje pentru maşini electrice de curent continuu cu comutatoare erconice

Eugeniu Catlabuga

Universitatea Tehnică a Moldovei

ecatlabuga@mail.md

**Abstract-** În lucrare se prezintă scheme de bobinaje înseriate prin ercoane cu contact deschis elaborate pentru maşini electrice de curent continuu cu scopul ameliorării comutaţiei în procesul de funcţionare a maşinei electrice. Deasemenea se dau unele indicaţii referitoare la poziţia optimală a magnetului permanent de comandă faţă de ercoanele care participă la comutarea secţiilor dintr-o cale de curent în alta.

**Cuvinte Cheie-** comutator erconic, magnet permanent de comandă, înfăşurare buclată simplu.

## I. INTRODUCERE

Maşinile de c.c. în majoritatea cazurilor funcţionează în regimuri tranzitorii: porniri frecvente, inversări a sensului de rotaţie, frânări, reglări a viteziei de rotaţie în limite largi, însoţite de salturi considerabile a curentului. În astfel de condiţii funcţionarea maşinii de c.c. practic este determinată de starea de lucru a colectorului. La funcţionarea normală a colectorului comutaţia este bună, gradul de scânteere la contactul perie-colector va fi mai rar, aceasta nu va produce deteriorarea colectorului. Totuşi, în secţia care comută se induce t.e.m., atât datorită câmpului magnetic creat de variaţia curentului în secţie, cât şi datorită câmpului magnetic creat în axa neutră de curenţi din indus, numit câmp de reacţie a indusului. În scopul anulării acestor t.e.m. care pot produce curenţi de scurt circuit în spira care comută, şi deci scânteii la colector, maşinile de c.c. sunt prevăzute cu poli auxiliari iar unele au o înfăşurare de compensare aşezată în creştăturile din tălpile polilor principali. Toate aceste metode nu garantează îndeajuns o comutaţie fără scânteii la colector în regimurile mai sus numite. În acelaşi timp pierderile de tensiune la contactul perie-colector nu vor fi eliminate complet. Cu scopul înlăturării acestor neajunsuri se propune în schemele de bobinaje tradiţionale ale maşinilor electrice de c.c. de putere mică utilizarea comutatoarelor erconice(CE).

## II. SCHEME DE BOBINAJ ELABORATE.

În Fig.1 este prezentată schema de bobinaj elaborată pentru maşina de c.c. cu patru poli la 17 creştături [1]. Indusul maşinii are o înfăşurare închisă conectată la un comutator erconic cu magneţi permanenţi şi o portperie.

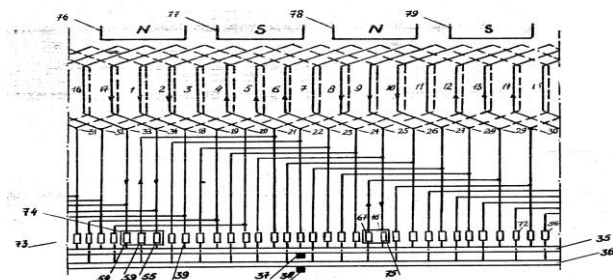


Fig.1 Schema înfăşurării cu comutator erconic.

Înfăşurarea indusului include secţiile 1-17, numărul cărora este egal cu numărul de creştături ale indusului, legate în serie formând un contur închis cu nodurile 18-34, legând începutul cu sfârşitul secţiilor vecine.

Portperia este alcătuită din două inele de contact 35 şi 36, pe care alunecă periile 37 şi 38. Ercoanele comutatorului formează două grupe 39-55 şi 56-72, aranjate pe coroana cilindrică 73. Începutul şi sfârşitul fiecărei secţii legate în nodurile 18-34 sânt conectate la inelele de contact 35 şi 36 prin intermediul ercoanelor comutatorului: la inelul de contact 35 prin intermediul ercoanelor 39-55, iar la inelul de contact 36 prin intermediul ercoanelor 56-72. Ercoanele care aparţin grupelor sunt aranjate pe o coroană cilindrică unul după altul alterând câte unul din fiecare grupă, totodată ercoanele unui nod sunt deplasate unul faţă de altul şi separate unul faţă de altul printr-un număr de ercoane egal cu numărul dublu de secţii ale unei ramuri paralele a înfăşurării indusului. Ca urmare, ercoanele ce leagă începutul cu sfârşitul oricărei secţii cu un inel de contact sunt separate de un ercon, ce leagă cu al doilea inel de contact sfârşitul secţiei separate de prima secţie, şi care este sfârşitul ramurii paralele la ieşirea inelului de contact 35, la intrare sunt conectate la începutul şi sfârşitul secţiei 16, iar erconul 59, amplasat între acesta, este conectat la ieşire cu inelul de contact 36, iar la intrare este conectat cu sfârşitul secţiei 3. La închiderea contactelor ercoanelor 54,59, şi 56 secţia 16 se va conecta la inelul de contact şi va fi scurtcircuitată, iar secţiile 17, 12, şi 3 vor forma una din ramurile paralele ale înfăşurării induse. La închiderea contactelor ercoanelor 67 şi 46, conectate cu cele două inele de contact, urmează conectarea inelelor la o altă ramură paralelă, care include secţiile 8,9,10 şi 11. Închiderea contactelor ercoanelor pentru conectarea secţiilor la inele se efectuează sub acţiunea câmpului magnetic al magneţilor permanenţi 74 şi 75, care-s amplasaţi contrar polilor inductorului. Magneţii permanenţi sunt deplasaţi unul faţă de altul peste doi paşi polari şi au o lăţime mai mare decât lungimea arcului ce cuprinde trei ercoane, dar mai mică decât lungimea arcului cuprins între fiecare primul şi al patrulea ercon la numărarea succesivă a acestora pe coroana cilindrică (aceasta se execută atunci când distanţa dintre ercoanele vecine este mai mare decât lăţimea erconului). Un magnet permanent are o lăţime care la rotirea indusului asigură o alternare de cuprindere a trei sau a două ercoane. Secţia

scurtcircuitată în procesul de funcționare se află în diferite locuri. Pentru poziția ilustrată în Fig.1, secția scurtcircuitată este 16, apoi secțiile scurt circuitate vor fi 12,4 și 6, apoi alte patru secții (secția 17 ș.a.), adică secția scurtcircuitată tot timpul trece dintr-o ramură paralelă în alta. Spre deosebire de colectoarele tradiționale ale mașinilor de c.c., în mașina cu ercoane în timpul comutației deschiderea contactelor se efectuează instantaneu, ameliorând procesul de comutație.

În Fig.2 este prezentată schema de bobinaj elaborată pentru mașina de c.c. cu comutator erconic cu doi poli la 8 crestături [2].

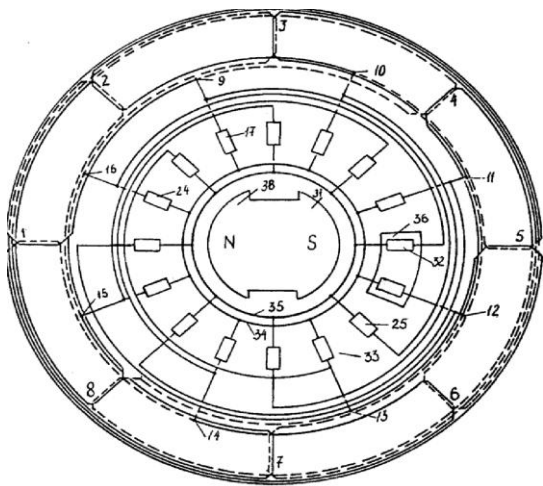


Fig.2. Schema înfășurării cu comutator erconic pentru  $2p=2$  poli cu  $s=8$  secții.

Înfășurarea indusului include secțiile 1...8, numărul cărora este egal cu numărul de crestături ale indusului, legate în serie, formând un contur închis cu nodurile 9...16, legând începutul cu sfârșitul secțiilor vecine. Ercoanele comutatorului formează două grupe 17...24 și 25...32, aranjate pe coroana cilindrică 33. Începutul și sfârșitul fiecărei secții legate în nodurile 9...16 sunt conectate la capetele de intrare ale ercoanelor 17...24, iar capetele de ieșire a ercoanelor, grupa 17...24, sunt conectate la șina conductoare de curent 34, iar capetele de ieșire ale ercoanelor grupe 25...32 – la șina conductoare de curent 35. Ercoanele ce aparțin grupelor 17...24 și 25...32 sunt aranjate pe o coroană cilindrică unul după altul alterând câte unul din fiecare grupă, totodată ercoanele unui nod sunt depasate unul față de altul și separate unul față de altul printr-un număr de ercoane egal cu numărul dublu de secții ale unei ramuri paralele a înfășurării indusului.

La închiderea contactelor ercoanelor 20 și 32, conectate la șinele conductoare de curent 34, 35 se vor conecta secțiile 8,1, 2,3 din prima ramură paralelă a indusului și secțiile 4,5,6,7 din a doua ramură paralelă a indusului.

Magnetul permanent de comandă 36 este fixat pe arborele inductorului mobil 38 și este deplasat cu un pol față de polul 37(s) al inductorului și are o lățime mai mare decât lungimea arcului ce cuprinde două ercoane, dar mai mică decât lungimea arcului cuprins între fiecare

primul și al treilea ercon la numărarea succesivă a acestora pe coroana cilindrică.

În continuare este prezentată o altă variantă pentru o înfășurare buclată simplu cu numărul de căi de curent  $2a=2p=4$  [3]. Schema de bobinaj este prezentată în Fig.3. Înfășurarea indusului conține 1-18 secții care-s egale cu numărul de crestături ale indusului mobil. Secțiile sunt legate între ele în serie și formează un contur închis cu nodurile 1'-18', care se leagă cu începutul și sfârșitul secțiilor adiacente.

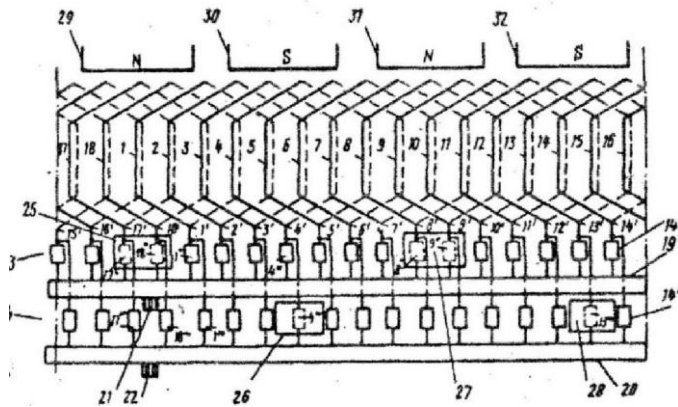


Fig.3. Schema înfășurării cu comutator erconic pentru  $2p=4$  poli cu  $s=18$  secții.

Port-peria este formată din inelele de contact 19 și 20 pe care alunecă periile 21 și 22.

Comutatorul erconic formează două grupe 1''-18'' și 1'''-18''' , aranjate pe coroanele cilindrice 23 și 24 corespunzătoare inelelor de contact 19 și 20. Începutul și sfârșitul fiecărei secții sunt unite în nodurile 1'-18' și sunt conectate la inelele de contact 19 și 20 prin intermediul ercoanelor comutatorului: la inelul de contact 19 prin ercoanele 1''-18'' și la inelul de contact 20 prin ercoanele 1'''-18''' .

Magneții permanenți de comandă 25,26,27, și 28 sunt aranjați contrar polilor N și S ale inductorului în așa mod ca magneții de comandă pentru o grupă de ercoane să fie deplasați unul față de altul la o distanță de doi pași polari, iar magneții care comandă cu diferite grupe de ercoane sunt deplasați la un pas polar a mașinii de c. c.. Magneții permanenți de comandă 25,26,27 și 28 au o lățime mai mare decât distanța dintre două ercoane vecine, dar mai mică decât distanța cuprinsă între trei ercoane vecine. Lățimea magnetului permanent asigură acoperirea a două ercoane dintr-o coroană cilindrică a comutatorului. În procesul de funcționare la rotirea indusului, magnetul de comandă cuprinde alternativ sau două sau un ercon. Magneții de comandă vecini, care-s aranjați în diferite coroane cilindrice a comutatorului erconic, sunt deplasați unul față de altul la o distanță, care asigură o acoperire în fiecare coroană a unui număr diferit de ercoane: atunci când în prima coroană cilindrică sunt acoperiți de magneții de comandă câte două ercoane, în a doua coroană cilindrică cu ercoane vor fi acoperiți numai câte un ercon, și invers, când în prima coroană cu ercoane magneții de comandă vor acoperi câte un ercon, în a doua coroană vor fi acoperite grupe de câte două ercoane, cea ce asigură un număr constant de secții, conectate în fiecare ramură a înfășurării.

### III. STUDIAREA ANALITICĂ A COMUTAȚIEI.

În Fig.4 se arată poziția relativă a secției **A-B** față de ercoanele comutatorului în timpul de comutație la interacțiunea câmpului magnetic a magnetului de comandă **C**. Înainte de a se începe procesul de comutație magnetul de comandă **C** va acoperi erconul 2 ( Fig.4). Sub acțiunea câmpului magnetic a magnetului de comandă **C** va acoperi erconul 2 se va închide, ca rezultat, prin contactul erconului , prin inelul de contact **d** și peria **p** va trece curentul  $i_2 = 2i_a$  care este egal cu curentul ramurei paralele a înfășurării. În cazul acesta sensul curentului în secția comutată va fi de la începutul spre sfârșitul ei.

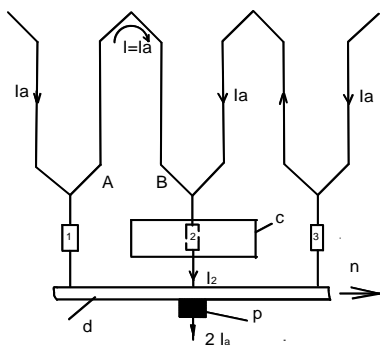


Fig. 4. Procesul comutației secției A-B pentru poziția magnetul de comandă **C** suprapus cu erconul 2.

La rotirea indusului magnetul de comandă **C** va acoperi și erconul 1 (Fig 5) , sub acțiunea câmpului magnetic a acestui contactele ercoanelor se închid, ca urmare curentul indusului se va ramifica pe două căi paralele, adică va trece prin ambele ercoane 1 și 2, prin primul ercon va trece curentul  $i_1$  iar prin al doilea va trece curentul  $i_2$ .

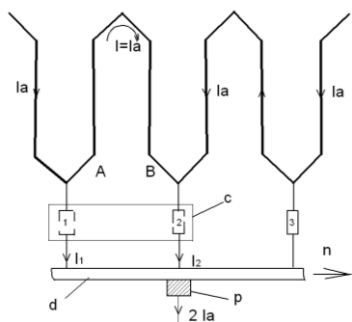


Fig.5. Procesul comutației secției A-B pentru poziția magnetului de comandă **C** suprapus cu ercoanele 1 și 2.

În același timp secția **A-B** va fi scurtcircuitată de inelul **d** , curentul  $i$  din secția comutată , se va modifica de la mărimea  $+i_a$  până la zero, apoi va schimba sensul și dinnou va crește până la mărimea curentului din ramura paralelă . La finalul procesului de comutație curentul rezultat va trece prin contactul erconului 1 (Fig.6):  $i_1 = 2i_a, i_a = 0$ .

La finalul comutației în secția **A-B** sensul curentului va fi de la sfârșit spre începutul secției , adică se inversează.

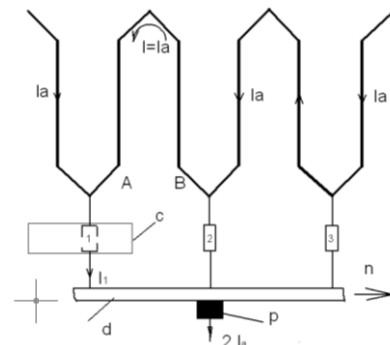


Fig.6. Procesul comutației secției A-B pentru poziția finală a magnetului **C** suprapus cu erconul 1.

Variația curentului în secția comutată pentru cazul analizat se descrie cu ecuația :

$$L_s(di/dt) + R_s i + i_2 r - i_1 r = \pm e_c \quad (1)$$

În care  $L_s$  - inductivitatea secției;  $R_s$  -rezistența activă a secției;  $r$  - rezistența de contact a erconului și a sectorului inel cuprins între două ercoane;  $e_c$  - t.e.m. de comutație;  $i_1, i_2$  - curenții, care parcurg contactele ercoanelor 1 și 2 și porțiunea de sector a inelului **d** dintre ercoane spre peria **p**.

Rezistența  $r$  reprezintă o mărime infinit de mică ( $r \approx 0$ ). Luând în considerație aceasta, componentele căderilor de tensiuni în ecuația (1) în continuare pot fi neglijate, deci ecuația se va simplifica, transformându-se în expresia:

$$L_s(di/dt) + R_s i = \pm e_c \quad (2)$$

Dacă t.e.m. de comutație lipsește, atunci curentul în secția comutată va rămâne aproape constant pe perioada comutației, foarte puțin micșorându-se sub influența rezistenței active a secției. În acest caz ecuația (2) va primi aspectul:

$$L_s(di/dt) + R_s i = 0 \quad (3)$$

Rezolvând ecuația (3) rezultă expresia curentului în secția comutată:

$$i = i_a e^{-t/\tau} \quad (4)$$

în care  $\tau = L_s / R_s$  - constanta de timp a secției;  $i_a$  - curentul din ramura paralelă a înfășurării;  $t$  - timpul parcurs de secția scurtcircuitată de la începutul comutației

Dacă în conturul secției comutate se introduce o t.e.m. exterioară  $e_c$  cu un sens invers față de t.e.m. autoindusă, se va mări viteza de variație a curentului  $i$  din secție. Mărimea t.e.m.  $e_c$  poate fi aleasă astfel ca la finele timpului de comutație curentul în secția comutată să se apropie de mărimea  $i_a$  și să primim o comutație optimală

(Fig. 7) Pentru acest caz ecuația (2) are următoarea formă:

$$i = i_a e^{-t/\tau} - (e_c / R_s)(1 - e^{-t/\tau}) \quad (5)$$

Analizând ecuația (5) se observă că viteza de variație a curentului în secția comutată va depinde de mărimea t.e.m. de comutație  $e_c$  și de constanta de timp  $\tau$  a conturului participant la comutație.

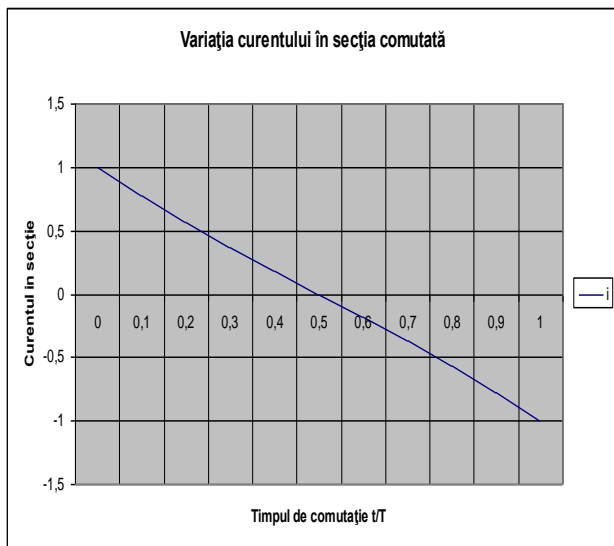


Fig.7 Curba de variație a curentului  $i$  in secția comutată pentru  $e_c / R_s = i_a$  și  $\tau = 0,034s$ .

Din figura prezentată se observă că curba de variație a curentului este simetrică în timpul comutației la trecerea secției dintr-o cale paralelă în alta, deci comutația este strict liniară și densitatea curentului în porțiunea inelului  $d$  este constantă. Perioada comutației se determină cu expresia:

$$T = \frac{b_e}{v_c} = \frac{60}{n \times E}, \quad (6)$$

în care :  $b_e = \pi \times D_e / E$ ;  $D_e$  -diametrul comutatorului;  $E$  - numărul ercoanelor comutatorului ;  $v_c = \pi \times n \times D_e / 60$ ;  $n$  - turația indusului.

#### IV. PARAMETRII UNGHIULARI AI CE.

Parametrii de bază, care determină caracteristicile de funcționare și de comutație a mașinei de c.c. cu CE, sunt dimensiunile unghiulare ale zonelor de acțiune ale magnetului de comandă C, notate cu  $b$  și unghiurile  $Q$  dintre axele  $U$  și  $e$ , formate în diferite poziții ale inductorului și ale magnetului de comandă. Mărimea unghiulară a parametrului  $b$  va fi egală cu durata de conectare a secției:

$$K = b / 2\pi, \quad (7)$$

unde  $2\pi$  corespunde pasului polar dublu.

Altă mărime importantă este unghiul spațial  $Q$  (Fig.8)

care se formează de axele fazorilor mobili ale primei armonice tensiunii  $U$  în secția comutată și ale primei armonice t.e.m. rezultante  $e$ , creată de câmpul magnetic resultant a mașinei electrice.

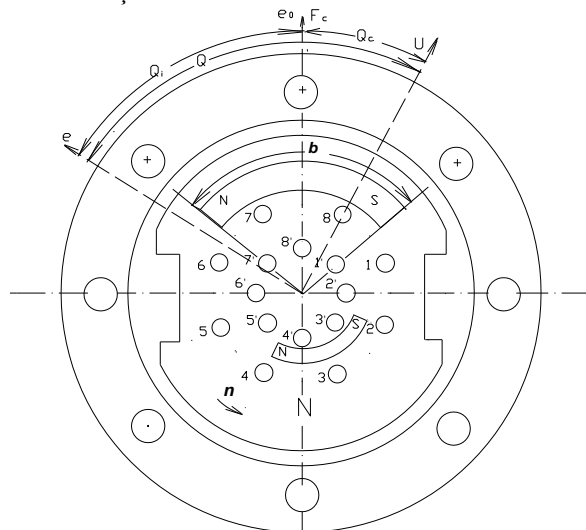


Fig.8. Reprezentarea axelor comutatorului erconic(CE) în dependență de poziția inductorului și a magnetului de comandă.

Unghiul  $Q$ , în corespundere cu Fig.8 ,se exprimă prin relația:

$$Q = Q_i + Q_c \quad (8)$$

În corespundere cu (8) unghiul  $Q$  are două componente care depind de parametrii unghiulari ai inductorului -  $Q_i$  și a comutatorului erconic-  $Q_c$ . La rândul său, acești parametri depind de poziția inductorului și a magnetului de comandă față de indus și de coroana cilindrică cu ercoane(1-8;1'-8'), care-s imobili.

Parametrul ungiular  $Q_c$  se determină din relația:

$$Q_c = \frac{(\alpha_{in} - \alpha_{des})}{2}, \quad (9)$$

unde  $\alpha_{in}$  este coordonata unghiulară de închidere a erconului, iar  $\alpha_{des}$  coordonata de deschidere a erconului.

#### V.CONCLUZII

1. Schemele înfășurărilor prezentate pot fi utilizate în mașinile de c.c. care trebuie să funcționeze în medii, unde apariția arcului electric și scânteierea în timpul comutării sunt inadmisibile.

2. Analizând expresiile (7)-(9) se observă că parametrii  $K$  și  $Q$ , care-s parametrii de ieșire a comutatorului, depind de mărimile unghiulare ale comutatorului, de zona unghiulară în care se deplasează magnetul de comandă în timpul comutației secției.

#### REFERINȚE

[1] Catlabuga Eugen. Brevet MD 1332 G2. 1997.11.06.  
 [2] Catlabuga Eugen. Brevet MD 3240 C2. 2007.01.31.  
 [3] Катлабуга Евгений RU Патент 2016471 C1 07.94.