

PARTICULARITĂȚI ALE CIRCUITELOR DE FORȚĂ DE CURENT CONTINUU SPECIFICE LOCOMOTIVELOR ELECTRICE SERIA BB 16500

SPECIFICATIONS OF DC POWER CIRCUITS SPECIFIC TO ELECTRIC LOCOMOTIVES BB 16500 SERIES

Melania TUDOSE DUMITRU¹, Victor Mihai POPA², Alexandra DRAGNEA³,
Adrian DUȚAN⁴, Adrian Ioan MUNTEAN⁵, George DUMITRU⁶

¹Universitatea Ecologică București, Blvd. „Vasile Milea” nr. 1G, sect. 6, București, România
e-mail autor: Melania TUDOSE DUMITRU: melania76dumitru@gmail.com

^{2,3}Cargo Trans Vagon SA, str. „Vaselor”, no. 34, sectorul 2, București, România e-mail autor:
Victor Mihai POPA: pymmihai@yahoo.com, Alexandra DRAGNEA: alexandra.dragnea@tts-group.ro

⁴Universitatea Ecologică București, Blvd. „Vasile Milea” nr. 1G, sect. 6, București, România
e-mail autor: Adrian DUȚAN: adrian_dutan@yahoo.com

^{5,6}Autoritatea Feroviară Română - Calea Griviței nr. 393, sectorul 1, București, România
e-mail: Adrian Ioan MUNTEAN: adrianmuntean67@yahoo.com; George DUMITRU:
george.dumitru.cfr@gmail.com

Rezumat: Locomotivele electrice produse de „Alstom” din seria BB 16500 și locomotivele electrice din seria BB 25500 sunt versiuni ale acelorași variate de locomotive respectiv locomotivele electrice seria BB 17000 și seria BB 8500, care sunt identice. Acestea au fost alocate în Franța, la depoul Montrouge din Paris (regiunea de vest), precum și depoul din Dôle (regiunea de sud - est) au primit prima locomotivă nouă din seria BB 25500, în vara anului 1964. În depoul Montrouge, sosirea locomotivelor s-a produs simultan cu sporirea numărului de km de linie electrificată la tensiunea de 25 [kV] și 50 [Hz] a liniei Le Mans - Laval - Rennes. În regiunea Franche - Comté, locomotivele seria BB 25500 din depoul Dôle au înlocuit locomotivele seria BB 16500 și seria BB 12000, care au fost utilizate până atunci sub liniile electrificate la tensiunea de 25 [kV] și 50 [Hz]. În România, au fost importate și sunt patru unități din seria de locomotive BB 16500 fiind redenumite 41-6 și doisprezece unități din seria de locomotive BB 25000, care au fost redenumite 42-55.

Cuvinte cheie: câmp rotoric, flux magnetic, chopper, inducție, tiristor, diode, frecvență de rezonanță.

Abstract: The electric locomotives produced by 'Alstom' in the BB 16500 series and the electric locomotives in the BB 25500 series are versions of the same variety of locomotives, namely the BB 17000 and BB 8500 series electric locomotives, which are identical. They were allocated in France at the Montrouge depot in Paris (western region) and the Dôle depot (south-eastern region) received the first new locomotive in the BB 25500 series in the summer of 1964. In the Montrouge depot, the arrival of the locomotives occurred simultaneously with the increase of the number of km of electrified line at the voltage of 25 [kV] and 50 [Hz] of the Le Mans - Laval - Rennes line. In the Franche-Comté region, the BB 25500 series locomotives in the Dôle depot replaced the BB 16500 series and BB 12000 series locomotives, which had until then been used under electrified lines at 25 [kV] and 50 [Hz]. In Romania, were imported and are four units from the series of locomotives BB 16500 being renamed 41-6 and twelve units from the series of locomotives BB 25000, which were renamed 42-55.

Keywords: rotor field, magnetic flux, chopper, induction, thyristor, diodes, resonant frequency.

1. INTRODUCERE

Locomotivele BB 16500 sunt locomotive electrice SNCF care funcționează la o tensiune de alimentare de 25 kV în curent alternativ monofazat de 50 Hz. Acestea fac parte din familia de locomotive: clasa SNCF BB 8500, clasa SNCF BB 88500, clasa SNCF BB 17000, clasa SNCF BB 20200 și clasa SNCF BB 25500 (figura 1) [1].



Fig. 1. Locomotiva electrică seria BB 16500

Comandate din 1954 ca parte a electrificării liniilor radiale de la Paris către nordul și estul Franței, acestea au fost livrate între 1958 și 1964 la o rată de 294 de unități, ceea ce le-a făcut cea mai importantă serie de locomotive electrice comandate de SNCF. Această serie de mașini versatile parcurge toate liniile din cartierul de nord-est al Franței în fruntea trenurilor omnibus sau de marfă, coborând în Jura (Dole, Vallorbe) sau aventurându-se pe coasta Canalului (Cherbourg, Le Havre). Unele unități operează și pe liniile din suburbiile nordice ale Parisului. În Franța, aceste locomotive au fost victimele competiției din seriile mai recente și din cauza disconfortului din cabinele de conducere, aceste locomotive au fost retrase din circulație între 2001 și 2011. S-au păstrat trei unități, una fiind expusă într-o piață din orașul Magenta (Marne), alte au fost vândute căilor ferate românești.

Transmisia locomotivei este principala legătură cheie între motorul electric de tracțiune și osiile motoare. Transmite cuplul motor la accelerare și la frânare de la motorul de tracțiune prin intermediul mecanismului pinion de atac - coroană dințată (calată pe osie) [2]. Chiulasa motorului electric de tracțiune (statorul) este montată rigid (semi suspendată) de șasiul cutiei vehiculului, iar rotorul este fixat elastic (semi suspendat) pe arborele osiei motoare. Cuplul motorului este egal cu cuplul osiilor. Pe axul motorului electric de tracțiune este atașat pinionul de atac, care, „se sprijină” pe arborele osiei prin intermediul a două furci („labe”) care asigură astfel distanța constantă a centrului de transmisie a cuplului motor [3]. Pe de altă parte, motorul este suspendat elastic cu arc de cadru șasiului cutiei [4].

Statorul este format din cei doi poli magnetici, care poartă înfășurările de excitație și sunt montați într-un ansamblu tip cadru (jug) care servește și ca legătură de retur pentru fluxul magnetic [5]. Legăturile polare conduc fluxul magnetic în rotor sau în ancoră, rezultând un spațiu interstițial sub poli cu o lățime constantă de doar câțiva milimetri. Cadrul, legăturile

PARTICULARITĂȚI ALE CIRCUITELOR DE FORȚĂ DE CURENT CONTINUU SPECIFICE LOCOMOTIVELOR ELECTRICE SERIA BB 16500

polare și jugul sunt întotdeauna laminate, asemănător cu transformatoarele, pentru a se asigura că fluxul urmează valoarea curentului excitatorului. Distanța dintre doi poli consecutivi pe circumferința rotorică se numește pas polar și are valoarea φ , întrucât aria circumferinței dintre cei doi poli reprezintă zona neutră [6].

2. CARACTERISTICI DE FORȚĂ ALE MAȘINII ELECTRICE ROTATIVE

Nivelul de inducție în interstițiul / spațiul fluxului de aer B_{1x} depinde de coordonata locală x a circumferinței pe direcția abscisei și este egală cu:

$$B_{1x} = \frac{\mu_0}{\delta} \cdot I_E \cdot w_E \cdot 1/1 + \frac{l_{Fe}}{2 \cdot \delta \cdot \mu_r} \quad (1)$$

unde: δ este lățimea golului de aer; μ_0 constanta de permeabilitate care are valoarea $4\pi \cdot 10^{-7}$ [Vs/Am]; I_E reprezintă intensitatea câmpului electric excitator; w_E este numărul de înfășurări ale unei înfășurări de câmp; μ_r reprezintă constanta permeabilității relative (în general, este > 1000); l_{Fe} reprezintă lungimea medie a liniilor câmpului magnetic în fier.

Densitatea fluxului este, așadar, invers proporțională cu lățimea golului de aer, rezultând practic, că valoarea câmpului magnetic din zona neutră este aproximativ nulă. Sub poli, (câmpul magnetic din zona neutră) are valoarea sloturilor $BL \cdot N$ (N/p fiind un număr impar) fiind ștanțate în tabla laminată cilindric a rotorului, care ocupă barele rotorului. La o viteză unghiulară n a rotorului, tensiunea electrică este indusă în fiecare bară din golul de aer în fiecare slot, având expresia matematică definită de ecuația următoare:

$$|u_i| = l_L \cdot r_L \cdot 2\pi \cdot n \cdot B_{Lx} \quad (2)$$

unde: l_L este lungimea laminării în direcția axială iar r_L reprezintă raza rotorului.

Două dintre bare, sunt aranjate una peste cealaltă în fiecare slot, numite bare laterale cu bobină superioară și respectiv bară laterală cu bobină inferioară (aceasta fiind numită înfășurare cu două straturi). Pe un capăt al tamburului rotorului, este fixat un comutator (sau colector), care este un tambur format din N segmente izolate de cupru și este lipit ferm pe bare. Atunci când rotorul învârte cu un pas de slot, două dintre bare sunt introduse în legătura serială, în timp ce alte două sunt eliminate din aceasta. În barele din zona neutră nu este indusă tensiune și nici ele nu contribuie la cuplu. O punte de comutare T tiristorizată cu circuite de comutare, modernizată ulterior cu tiristoare „GTO” [7] și comutatori „IGBT” [8], este conectată în serie cu înfășurarea armăturii motorului electric de curent continuu. Prin pornirea și oprirea succesivă, periodică a acestei punți, valoarea medie a tensiunii terminale a motorului bisistem, variază proporțional cu ciclul de funcționare $T1/T$, raportul dintre timpul de pornire și perioadă („rezistență de frânare”, „convertizor de întoarcere”) [9].

$$\bar{u}_2 = U_1 \cdot \frac{T1}{T} = U_1 \cdot a \quad \text{unde } 0 \leq a \leq 1 \quad (3)$$

unde: $1/T = f_z$ este frecvența de comutare, în general constantă cu modularea lățimii impulsurilor (PWM).

Deoarece sarcina electrică inductivă menține intensitatea curentului de întoarcere, trebuie utilizată o cale paralelă („by-pass”), atunci când valoarea rezistenței de frânare T și a convertizorului de întoarcere trebuie oprite (situație în care, comutatorul este deschis). Acest lucru se realizează printr-o rotație „rotire liberă” (inerțială) cu tensiune nulă de la sursă. Turația mașinii electrice rotative se modifică în așa fel, încât la o tensiune electromotoare

e.m.f. variabilă $u_2 \cdot U_1$ la borne, se păstrează valoarea medie prestabilită a intensității curentului electric i_2 . Deoarece grupul de punți format din rezistențele de frânare T și convertizoarele de întoarcere D reprezintă un convertor fără pierderi, ecuația de echilibru se menține în forma următoare:

$$P = U_1 \cdot i_1 = \bar{u}_2 \cdot i_2 \quad (4)$$

Pe cale de consecință:

$$i_1 = a \cdot i_2 \quad (5)$$

A treia linie de tensiune - curent este asamblată peste „circuitul de netezire” L_2 , introdus între chopper [10] și armătura motorului:

$$u_{L_2} = u_2 - \bar{u}_2 \quad (6)$$

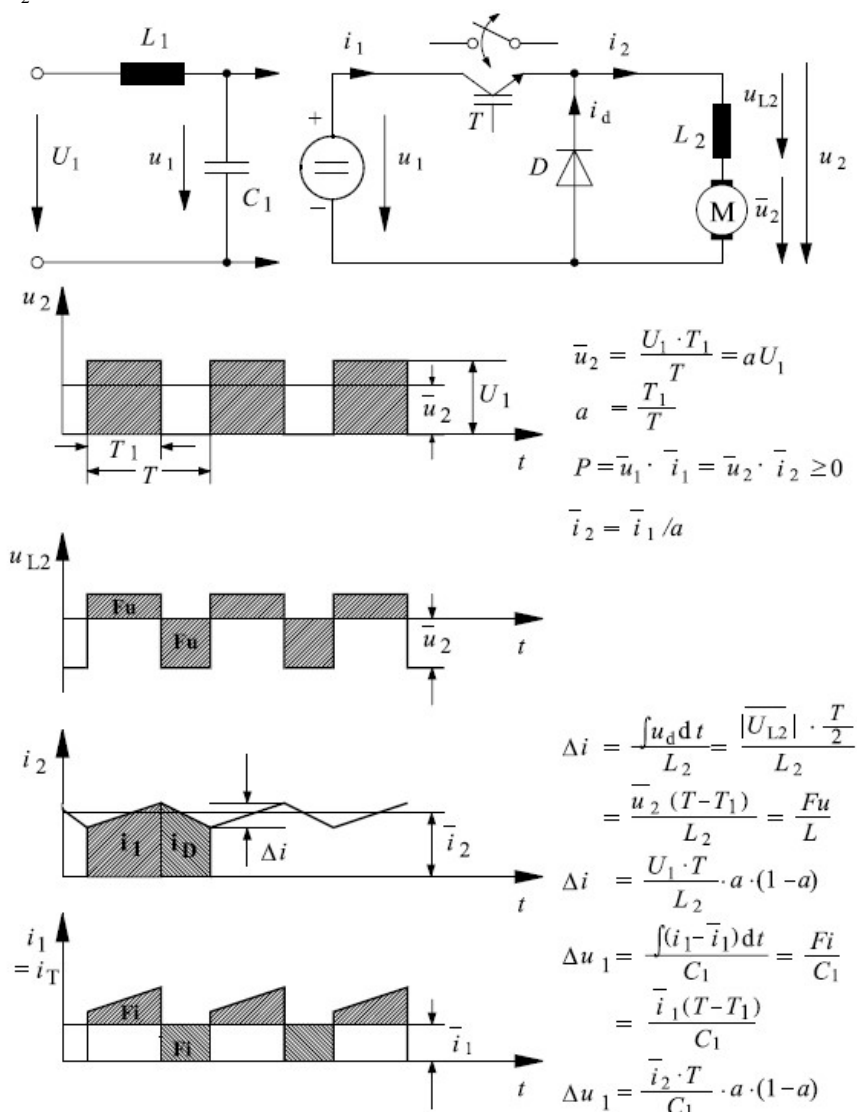


Fig. 2. Schema de bază și diagramele de curent ale convertorului de curent continuu și ale chopper-ului

Valoarea inductivității trebuie aleasă în așa fel încât, la o frecvență de comutare dată

**PARTICULARITĂȚI ALE CIRCUITELOR DE FORȚĂ DE CURENT CONTINUU
SPECIFICE LOCOMOTIVELOR ELECTRICE SERIA BB 16500**

f_z , să se inverseze sensul curentului de ieșire „vârf la vârf” la bornele mașinii Δi_2 (valoarea dublei undulații), influențată de integrala Fu de timp a tensiunii L_2 , care nu depășește valoarea admisibilă în comutator și în câmpul polului de comutație al motorului de curent continuu.

$$\Delta i_2 = \frac{Fu}{L_2} = \frac{1}{L_2} \int u_{L2} dt = \frac{1}{L_2} \cdot \overline{|u_{L2}|} \cdot \frac{T}{2} = \frac{1}{f_z L_2} \cdot U_1 \cdot a(1-a) \quad (7)$$

A patra linie de curent conduce curentul de ieșire i_2 și îl netezește în curentul tranzistorului i_1 și curentul diodei i_D , în timp ce linia a cincea linie de curent descompune curentul de intrare a chopper-ului (care este egal cu curentul tranzistorului i_1), a cărui valoare medie i_1 trebuie livrată de către filtrul de intrare condensator C_1 împreună cu secvența de curent alternativ, care, pentru a menține liberă sursa de curent alternativ pe porțiuni, este imperativă evitarea respectiv eliminarea oricăror deranjante (figura 2). Valoarea dublă a tensiunii ondulatorii filtrate, este determinată de integrala funcție de timp al secvenței de curent alternativ a curentului de intrare a chopper-ului, având expresia matematică următoare:

$$\Delta u_1 = \frac{Fi}{C_1} = \frac{1}{C_1} \int (i_1 - \bar{i}_1) = \frac{1}{f_z \cdot C_1} \cdot T_2 \cdot a(1-a) \quad (8)$$

La acest nivel al circuitului, inductivitatea L_1 a filtrului de intrare este considerată suficient de mare, astfel încât frecvența de rezonanță f_R să fie suficient de mică și inferioară valorii frecvenței de comutare f_z a chopper-ului. Valoarea maximă a curentului de ieșire și a tensiunii prin filtrul de intrare se obține la un ciclu de funcționare de 50% ($a = 0,5$) (figura 3).

$$f_R = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_1 \cdot C_1}} \quad (9)$$

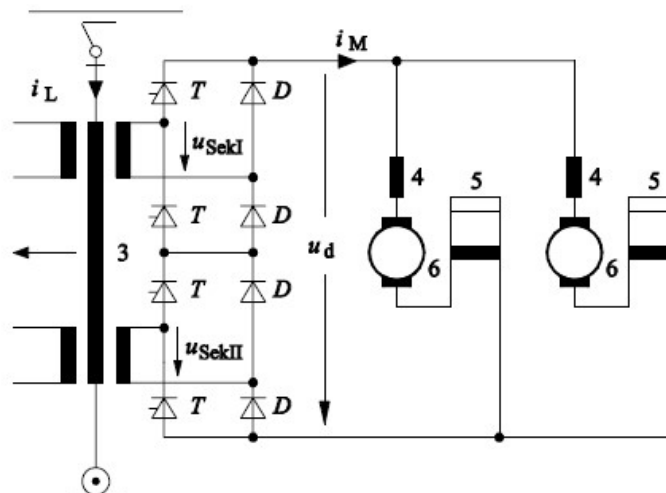


Fig. 3. Schema de acționare electrică a locomotive: 1- pantograf; 2- acționarea frâncii principale (automate); 3- transformatorul principal; 4- diodele de netezire a curentului ondulat; 5- blocul aparatelor pentru slăbirea câmpului (șuntările); 6- motoarele de tracțiune.

Tensiunea directă fără sarcină ideală (neglijând toate căderile de tensiune rezistive și de scurgere din transformatorul principal al locomotivei) este:

$$\bar{u}_{di} = \frac{4 \cdot u_{sek}}{\pi} \quad (10)$$

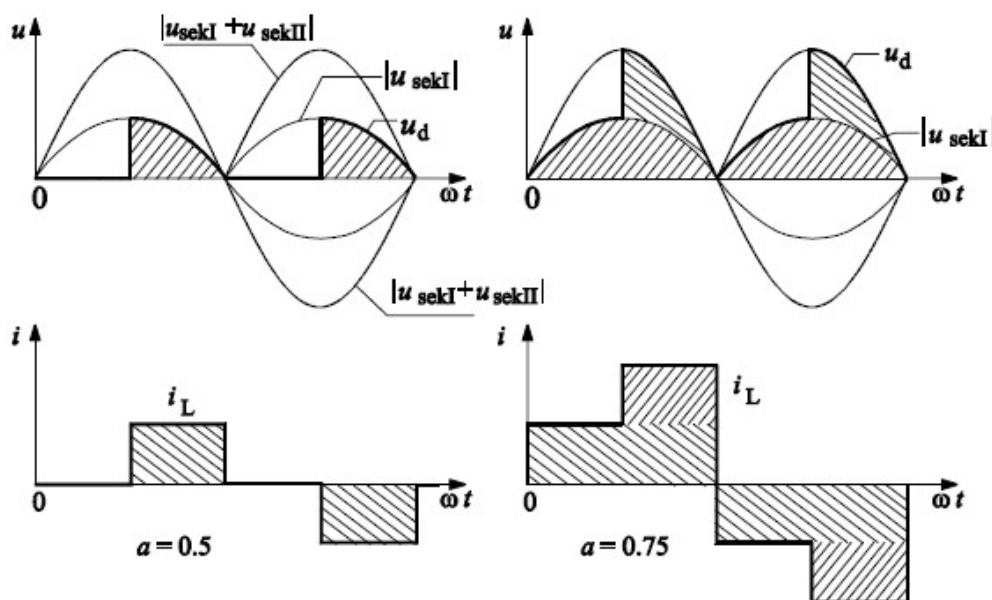


Fig. 4. Diagramele punții cu două impulsuri în conexiune pe jumătate controlabilă a perechilor de brațe cu control secvențial de fază.

De asemenea, controlul secvențial al unghiului de fază este redus la tensiunea directă (ideală), fără sarcină controlată (figura 4):

$$\bar{u}_{di\alpha} = \bar{u}_{di} \cdot \left\{ \frac{2 + \cos \alpha_I + \cos \alpha_{II}}{4} \right\} \quad (11)$$

unde:

$$\left\{ \begin{array}{l} \pi > \alpha_I \geq 0, \quad \alpha_{II} = 180^0, \quad a = \frac{\bar{u}_{di\alpha}}{4 \cdot \bar{u}_{sek}} \leq 0,5 \\ \alpha_I = 0, \quad 180^0 > \alpha_{II} \geq 0, \quad 0,5 < a = \frac{\bar{u}_{di\alpha}}{4 \cdot \bar{u}_{sek}} \leq 1 \end{array} \right\} \quad (12)$$

Valoarea tensiunii directe (reale) în raport cu tensiunea directă indusă d_x , reglarea rezistivă a tensiunii directe și tensiunea pragului semiconductorului $\sum U_{T0}$ se determină cu ecuația următoare:

$$\bar{u}_d = \bar{u}_{di\alpha} - \bar{u}_{di} \cdot (d_x + d_r) - \sum U_{T0} \quad (13)$$

unde:

$$d_r = \frac{1}{\bar{u}_{di}} \sum R_i \cdot \bar{i}_d \quad (14)$$

Reglarea inductivă și rezistivă a tensiunii directe, exprimată prin datele corespunzătoare ale transformatorului și condițiile operaționale se determină cu ecuația:

$$d_{x,r} = u_{xr} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{\bar{i}_d}{\bar{i}_{dN}} \cdot \frac{U_{sekN}}{U_{sek}} \quad (15)$$

Frânarea recuperativă [11] prin intermediul unei punți în conexiune complet

**PARTICULARITĂȚI ALE CIRCUITELOR DE FORȚĂ DE CURENT CONTINUU
SPECIFICE LOCOMOTIVELOR ELECTRICE SERIA BB 16500**

controlabilă care permite atingerea unei tensiuni negative ($u_d < 0$), a fost utilizat limitat din cauze precum pre disponibilitatea deconectării necomandate a circuitului principal de forță al locomotivei cu blocare în cazul imposibilității menținerii contactului alunecător al periei pantografului de firul de contact din cauze variate cu pericol de conturare precum și din cauza dificultății menținerii unghiului de control într-o marjă prea mare de până la 180° . Însă, în aceste situații, factorul de deplasare $\cos \phi_1$ este prea slab (respectiv $\cos \phi_1 \gg -1$) și conexiunea pe jumătate controlabilă reduce considerabil puterea reactivă fundamentală în circuitul de forță al locomotivei până la aproximativ $\approx 50\%$ comparativ cu tensiunea de regim la randament energetic maxim.

2. FUNCȚIONAREA MOTORULUI ELECTRIC DE TRACȚIUNE

Funcționarea motorului electric de tracțiune de curent continuu al locomotivei, pleacă de la originea alimentării circuitului acestuia de la o linie de contact de curent continuu (în cazul de față de la bornele convertorului de curent legat la transformatorul principal), punctul său de lucru fiind ajustat de un reostat având rezistența ohmică R_{rh} [12], care acționează asupra tensiunii și un scurtcircuit (șunt) cu rezistența R_{rh} , care acționează asupra excitației serie, cu o valoare ohmică variabilă. Excitația este în mare parte în serie cu armătura iar ecuațiile sistemice au fost prezentate neglijându-se inductanțele de scurgere din motor (figura 5).

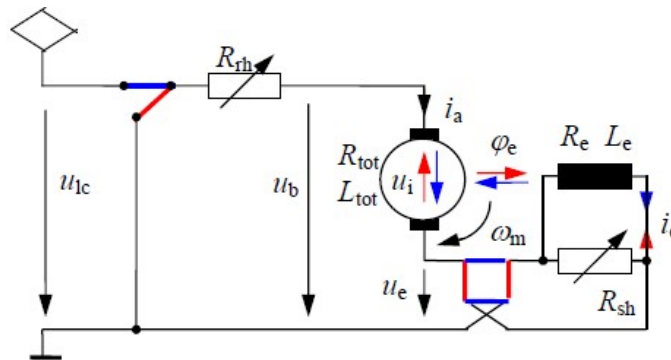


Fig. 5. Schema electrică a motorului electric de tracțiune de curent continuu cu frână electrică reostatică și cu excitație serie.

De asemenea, am considerat constanta motorului C_m , N_p fiind numărul înfășurărilor pe pol, iar p numărul perechilor de poli și atunci, fluxul total de curent este:

$$\begin{aligned}
 \psi_e &= 2pN_p\phi_e \Rightarrow \\
 \Rightarrow u_i &= C_m\phi_e\omega_m \Rightarrow \\
 \Rightarrow M_m &= C_m\phi_e i_a \Rightarrow \\
 \Rightarrow \frac{d\omega_m}{dt} &= \frac{1}{J}(M_m - M_{ex}) \Rightarrow \\
 \Rightarrow \frac{di_a}{dt} &= \frac{1}{L_{tot}}[u_{1c} - R_{rh}i_a - R_{tot}i_a - u_i - R_{sh}(i_a - i_e)] \Rightarrow \\
 \Rightarrow \frac{d\psi_e}{dt} &= R_{sh}i_a - (R_{sh} + R_e) \cdot i_e
 \end{aligned} \tag{16}$$

Fluxul total de curent este ψ_e și debitul la funcționarea la mers în gol este φ_e . Ecuația dinamică arată dependența motorului de forță de inerție J , care este derivată și corectată pe cuplul extern M_{ex} . ω_m este viteza de rotație a mașinii electrice rotative de curent continuu din circuitul de forță al locomotivei.

3. CONTROLUL CIRCUITULUI PRIN CHOPPERE

La o sarcină inductivă, tensiunea pulsată u_d poate fi aplicată prin intermediul unei conexiuni CS. Valoarea medie a tensiunii u_b la funcționarea în sarcină a motorului electric, este produsul rației de funcționare și a tensiunii de alimentare u_{1c} . O diodă D_r denumită „punte liberă” permite trecerea fluxului de curent inductiv când comutatorul de cuplare pentru asigurarea continuității circuitului de forță, este deschis. Un filtru LC montat în circuitul de linie la intrare, este calculat de la frecvența chopper-ului pentru a limita valorile de curent din rețeaua electrică (figura 6). Comutatorul este realizat ca un comutator static cu semiconductori.

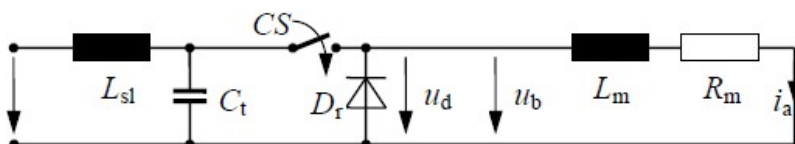


Fig. 6. Schema circuitului electric cu chopper

Arborele cardanic este montat între osie și angrenaj. Acest arbore este un tub care îmbracă osia tip „Jaquemin” (figurile 7 și 8).

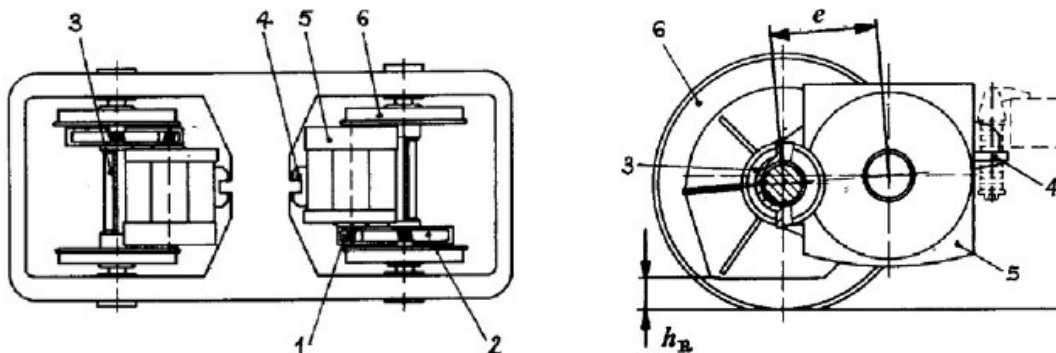


Fig. 7. Amplasarea motorului electric de tracțiune tip „Jaquemin” din dotarea locomotivelor seria BB 16500: 1- pinion; 2- coroană dințată; 3- lagărul cu rulmenți; 4- nasul de fixare al cadrului; 5- motor; 6- osia; e reprezintă distanța de plasare și h_R este spațiu sub carter.

Mecanismul de acționare sau transmisie are rolul de a transmite la pinionul de atac al motorului, cuplul motor de tracțiune. Dimensiunea roților dințate ale pinionului și ale coroanei dințate calate pe osie și a arborilor trebuie calculate în funcție de efortul maxim de tracțiune, la care se adaugă o marjă. Lagărele și silentblocurile trebuie să reziste și după apariția uzurii prin îmbătrânire [13]. La circulația locomotivei în curbe, supraînălțarea liniei asigură o echilibrarea forțelor centrifuge necompensate [14].

PARTICULARITĂȚI ALE CIRCUITELOR DE FORȚĂ DE CURENT CONTINUU SPECIFICE LOCOMOTIVELOR ELECTRICE SERIA BB 16500

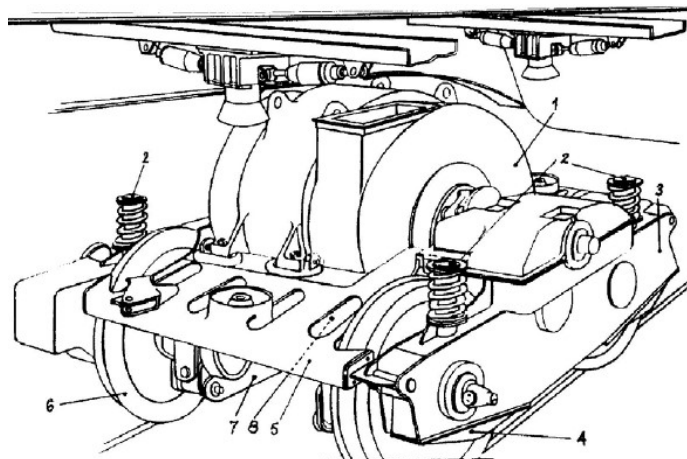


Fig. 8. Schema motorului electric de tracțiune tip „Jaquemin” din dotarea locomotivelor electrice din clasa BB 16500: 1- motor; 2- suspensia cescundară; 3- carterul angrenajului motor; 4- inel / garnitură de fixare cu amortizare; 5- șasiul boghiului; 6- osia; 7- cutia de osie; 8- suspensia primară.

CONCLUZII

Modelarea vehiculului feroviar motor este mai complexă, dar cu ajutorul procesoarelor de semnal digitale „DSP” obișnuite, toate calculele pot fi rezolvate suficient de rapid pentru un control simplu pe două niveluri. Controlul direct al fluxului statornic poate îmbunătăți în mod decisiv performanța dinamică în domeniul slăbirii câmpului (șuntare), prin așa numita slăbire dinamică a câmpului „DFW”. De reținut mai este și faptul că frecvența de comutare restricționată, nu este o problemă primordială, similară cu circuitele de forță ale invertoarelor „IGBT”, principiul orientării instantanee a fluxului statornic introdus, putând fi utilizat foarte bine și cu ajutorul modulatorului lățimii de bandă a impulsurilor „PWM”, în cazul controlului cantităților indirecte din circuitul statornic „ISC”. Fluxul este apoi condus pe o curbă de cale circulară, cuplul fiind controlat indirect de media sa numai pe perioada impulsului și nu în mod direct. Slăbirea dinamică a câmpului, oferă aceeași valoare a cuplului dinamic, fără precedent în domeniul slăbirii câmpului și fără a fi necesară o marjă de control a tensiunii, ceea ce constituie o importanță deosebită pentru acționările de putere din circuitele de forță extrem de exploatate.

BIBLIOGRAFIE

- [1] J. Cuynet, „*Les débuts du courant industriel à la SNCF*” - J3eA, 2008 - j3ea.org.
- [2] N. Condacse, „*Locomotive și trenuri electrice*”. Editura didactică și pedagogică București 1980.
- [3] K. Heumann, K. Steimel, „*Kommutatorloser Bahnmotor mit Pulswechselrichter für Akkumulatortriebwagen*” AEG-Mitteilungen 55 (1965), nr. 3, 1965 pages. 220–226.
- [4] P. Vas, W. Drury, „*Electrical machines and drives: present and future*”, 1996 IEEE, pages.67-74.
- [5] D. Mihăilescu, V. Tulbure, „*Comanda și reglarea locomotivelor cu motoare de tracțiune asincrone*”, Editura All, București, 2001
- [6] I. Nucă, P. Vârlan, V. Crudu, „*Analiza comparativă a motoarelor electrice de tracțiune cu rotorul interior și rotorul exterior*”, Conferința tehnico-științifică a colaboratorilor, doctoranzilor și studenților, 2012 - repository.utm.md, pages 1-4.
- [7] D.W. Hart, Vuelapluma, A.B. Bautista, „*Electrónica de potencia*” 2001 - academia.edu, p. 4.
- [8] L. Ciufu, M. O. Popescu, Electrotehnica, „*Stand experimental pentru studiul impactului*

- actionarilor electrice moderne asupra motoarelor asincrone/Experimental*”, Electronica, Automatica: EEA; Bucharest Vol. 64, Iss. 4, (Oct-Dec 2016) pages 59-65.
- [9] **I. Lingvay, I. Csuzi, E. Silaghi, L. Tudosie, C. Lingvay**, „*Transportul electric urban peșine*”, Electrotehnica, Electronica, Automatica, vol. 58 (2010), pages 16-21.
- [10] **G. Mihalache**, „*Cercetări privind îmbunătățirea metodelor de comandă și control ale motoarelor electrice pas cu pas*”, teză de doctorat, Universitatea Tehnică “Gheorghe Asachi” din Iași, 2018.
- [11] **C.N. Badea, A. Badea, M. Bolânu, DM. Balint, G. Dumitru**, „*Calculul forței de frânare rapidă necesară opririi trenului de mare viteză seria 401-Erste Ice*”, Sinteze de Mecanică Teoretică și Aplicată, vol 7, (4), pp. 349-360, 2016.
- [12] **V. Manoliu**, „*Influența coliviei de amortizare în funcționarea motorului sincron cu excitație electromagnetică alimentat de la convertor static de frecvență*”, Facultatea de Inginerie Electrică, Universitatea Politehnică din București, Simpozionul de Mașini Electrice SME’09 - octombrie 2009, pag. 1-8.
- [13] **C.N. Eparu, S. Neacsu, A.P. Prundurel, R Rădulescu, A. Neacșa**, „*Behaviour of transmission and distribution networks with big consumption, the stress test*”, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 595 (1), 2010.
- [14] **G. Popa, C.N. Badea, M. Vălu, C. Badea, M. Dumitru, G. Dumitru**, „*Aderența osiilor motoare ale vehiculelor feroviare*”, Sinteze de Mecanică Teoretică și Aplicată, vol. 10, (3), pp. 193-202, 2019.
- [15] **Curtius, E. W.; Kniffler, A.** „*Neue Erkenntnisse über die Haftung zwischen Treibrad und Schiene*”. Elektrische Bahnen 20 (1944), Nr. 2, pp. 25–29.
- [16] **M. Dumitru, G. Dumitru** „*Manualul mecanicului de locomotivă*”, ISBN 978-606-25-0531-8, Editura MatrixRom, București, 2020.
- [17] **M. Dumitru, G. Dumitru ș.a.** „*Determinarea isocuantelor producției în sectorul feroviar*”, Simpozionul Național de Material Rulant de Cale Ferată - UPB, ISSN 1843-9888, București, 29-30 Noiembrie 2018.
- [18] **J. Klingel**: „*Über den Lauf der Eisenbahnwagen auf gerader Bahn*”. Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens XX (1883).