

STUDIUL CIRCUITELOR ELECTRICE DE PE LOCOMOTIVA ELECTRICĂ ROMÂNEASCĂ LE-060-EA 5100KW

1. LOCOMOTIVA ELECTRICĂ LE060EA 5100KW

Echipamentul electric al locomotivelor se compune din mașini și aparate care, deși au principii de funcționare identice cu cele folosite în alte domenii ale tehnicii, sunt specifice locomotivelor și ramelor electrice. Astfel, motoarele electrice sunt construite pentru locomotive cu parametrii de proiectare la limită, având în vedere regimurile de funcționare ale acestora, în special regimurile tranzitorii cu porniri și opriri dese, dar și sarcini foarte diferite.

Locomotiva electrică LE 060 EA este cu acționare individuală a osiilor, cu șase motoare de curent continuu, câte trei pe fiecare boghiu. Motoarele sunt de c.c. cu excitație serie, tip LJE 108 cu putere unioară de 900 kW (1222 CP) la 770 V, 1250 A și 920 rot/min. Reglarea turației motoarelor de tracțiune se face prin reglarea tensiunii de alimentare a motoarelor de tracțiune (40 trepte) plus 3 trepte de reglaj prin subexcitarea înfășurărilor inductoare. Locomotiva dispune de două pantografe asimetrice comandate electropneumatic.

Tabel 1 - Date generale pentru locomotiva electrică LE 060 EA.

Tensiune / Frecvența nominală		25000 V / 50 Hz
Putere de durată		5100 kW
Putere unioară		5400 kW
Formula osiilor		$C_0 - C_0$
Diametrul roților (neuzate)		1250 mm
Motor de tracțiune de c.c. (6 motoare)	Putere de durată	850 kW
	Putere unioară	900 kW
	Tensiune de alimentare	770 V
	Curent nominal	1180 A
	Curent maxim	2000 A
	Turație nominală	1100 rot/min
	Clasă de izolație	F
Masă motor plus instalația de acționare		3070 kg
Masă transmisie roți dințate		920 kg
Raport de transmisie	20 : 73 1 : 3,65	pentru 120 km/h
Sisteme de frânare	Electric	Reostatic
	Mecanic	Saboți
Ecartament		1435 mm
Masa		120 t
Lungime între tamponane		19800 mm
Înălțime cu pantograf ridicat		până la 6700 mm

Transformatorul principal T1 are raportul 25000/967 V, având o putere unioară de 5790 kVA. El mai conține înfășurarea pentru serviciile auxiliare (trifazată), înfășurarea pentru încălzirea trenului, transformator pentru frânare, transformator de măsură.

Înfășurările transformatorului de reglaj au în compunere o înfășurare primară pentru autotransformator T 1.1. De la această înfășurare se alimentează primarul transformatorului de tracțiune prin culegătorii de înaltă tensiune T2.1 și T2.2.

Înfășurarea de reglaj este o înfășurare spirală dublă, având pe fiecare coloană 22 spire. Din cele de 22 spire, 20 de spire sunt legate în serie, fiecare spiră constituind pasul de reglaj al înfășurării, iar două spire sunt utilizate pentru ridicarea tensiunii pe partea de joasă tensiune, la transformatorul de tracțiune, cu încă 24 V pentru fiecare treaptă adăugată în sistem de culegătorul T2.2. Se obțin astfel 40 de trepte de reglaj pentru tensiunea primară a transformatorului de tracțiune, implicit a tensiunii pentru motoarele de tracțiune. Curentul maxim prin înfășurarea transformatorului de reglaj este de maxim 266 A, când se folosește și încălzirea trenului, iar fără încălzirea trenului este de 238 A. O altă înfășurare pe miezul transformatorului de reglaj este înfășurarea T1.12. care produce tensiunea necesară alimentării cu energie electrică a serviciilor auxiliare și încălzire tren și are 6 ieșiri (d1÷d5 și borna e, figura 3). Pe același miez al autotransformatorului se află și înfășurarea T1.2. pentru obținerea a 20 de trepte de reglaj intermediare treptelor din autotransformator.

Transformatorul de tracțiune este format din înfășurarea primară T 1.3. alimentată de la bornele înfășurării transformatorului de reglaj T 1.1. la o tensiune de 25000 V și șase înfășurări secundare (T1.4. - T1.9.) pentru grupurile redresoare ale fiecărui motor de tracțiune. Tensiunea secundară este variabilă de la 48 V la 967 V, corespunzătoare treptelor de reglaj de pe partea de înaltă tensiune a transformatorului de reglaj.

Ansamblul transformator este montat într-o cută închisă în care se găsește uleiul de răcire. Uleiul de răcire este antrenat din cută spre răcitor printr-o pompă antrenată de un motor electric. Răcitorul este un radiator cu ventilație forțată.

3. CIRCUITELE MOTOARELOR DE TRACȚIUNE

Fiecare motor de tracțiune de pe locomotiva electrică este alimentat cu energie electrică de la o înfășurare secundară T1.4. ÷ T1.9 a transformatorului de tracțiune. Reglarea turației motoarelor de tracțiune, deci reglarea vitezei locomotivei, se face prin reglarea tensiunii de alimentare a motoarelor de tracțiune (40 trepte prin transformator reglaj) plus 3 trepte de reglaj prin subexcitarea înfășurărilor inductoare. Motoarele de tracțiune sunt alimentate în curent ondulat obținut prin redresoarele cu diode în punte S1.12÷S6.12 și filtrat prin selfurile de aplatizare 16.1÷16.6. Circuitele de forță ale motoarelor de tracțiune împreună cu redresoarele și aparatul electric pentru conectare-deconectare se grupează pe blocuri notate cu S1÷S6, câte unul pe fiecare motor (în Figura 1 este prezentat blocul S4).

Având în vedere regimurile de funcționare ale motoarelor de tracțiune (motor când realizează forța de tracțiune și generator când se folosește frâna electrică) putem separa circuitele în două, astfel:

- circuitele motoarelor în regim de tracțiune (Figura 1).
- circuitele motoarelor de tracțiune în regim de frânare electrică (Figura 2).

Semnificația notațiilor din schema circuitului principal de pe LE060 (Figura1, Figura2):

- 1 , 2 – captatori de curent (pantografele, acționate electropneumatic),
- 3 ,4 - separatori
- 5 – descărcător pentru supratensiuni
- 6 - întrerupător principal
- 7 - transformator de curent pentru protecție
- 8 – izolator de trecere 25 kV, prin care sunt legate conductoarele de 25 kV de pe acoperiș cu înfășurarea transformatorului principal
- 16 – blocul selfurilor de aplatizare compus din 6 înfășurări izolate galvanic între ele
- e₅ - descărcător 30 kV
- T2.1, T2.2 – culegători de joasă tensiune
- T8 – transformator sugător, T 10 - descărcător
- T 1.12. – înfășurare auxiliară
- S 4.1. ÷ 4.10 - contactori, S 4.10 - descărcător
- S 4.11. - transformator de impuls
- S 4.14. – inversor de sens mers
- S9 - rezistență de frânare
- M4 – motor de tracțiune
- T6 - dispozitiv de punere la masă care pune la pământ partea de 25 kV a transformatorului principal
- T 1.1. - transformator de reglaj cu 20 trepte
- T 1.2. – înfășurare suplimentară pentru reglaj continuu (20+20)
- T 1.13. - transformator de curent
- T 1.3. - transformator de tracțiune
- T 1.4 ÷ T 1.9. – înfășurări secundare pentru alimentarea motoarelor de tracțiune
- T 3.8. - rezistențe de protecție
- T 4.1 - rezistențe de trecere graduator care împiedică scurtcircuiturile în înfășurarea de reglaj T1.1 a transformatorului principal la trecerea de la o treaptă la alta
- T.10 – Descărcător de supratensiune 1,5 kV care protejează înfășurarea de încălzire a trenului, a transformatorului principal de supratensiuni
- k1 ÷ k4 - contactori de sarcină

3.1. Circuitele motoarelor de tracțiune în regim de tracțiune

În regim de tracțiune, contactoarele S1.1.÷S6.1 și contactoarele S1.3.÷S6.3 sunt închise alimentând fiecare motor în parte cu tensiune variabilă cuprinse între 48V și 967 V, formând 6 circuite separat alimentate de la transformatorul de tracțiune T1.3 prin secundarele acestuia. Schimbarea sensului de rotire (mers) se face prin inversorii: S1.1 4÷S6.14 după următorul circuit: T1.7 – S4.1. – S.4.12. – S.4.2. – M4 – S4.14. – Excitație – 16.4. – S4.12 – T1.7. (exemplu pentru motorul de tracțiune 4, blocul S4). S4.12. (redresorul) are în compunere 4 ramuri a câte 12 diode înseriate pentru a se putea realiza un curent maximal (1100 A) pentru motorul de tracțiune 4.

3.2. Circuitele motoarelor de tracțiune în regim de frânare electrică

În regim de frânare electrică (Figura 3) motoarele de tracțiune funcționează ca generatoare de c.c cu excitație separată. Înfășurările de excitație ale motoarelor de tracțiune sunt legate în serie, iar alimentarea lor se face de la transformatorul de frânare T1.10-T1.11 prin redresorul S4.12. Energia electrică obținută de la motoarele de tracțiune, care trec în regim de generator, se disipă în energie termică pe rezistențele S9.1÷S9.6 care sunt răcite cu aer furnizat de ventilatoare. Curentul maxim (960 A) este limitat de un releu de protecție S7.38.13 alimentat de la transformatorul de măsură S.9.7 (de pe circuitul motorului MT2) iar reducerea curentului de excitație a motoarelor se face prin comanda graduatorului în senul descreșterii tensiunii.

Semnificația simbolurilor din figura 2.

- T1.3 – înfășurarea primară a transformatorului de tracțiune
- T1.4÷T1.9 – înfășurările secundare ale transformatorului de tracțiune
- T1.10, T1.11 – transformatoarele de frânare cu miez de fier
- T9.4 – transformator de măsură
- S4.11 - transformator de impuls
- 16.4 – self de aplatizare
- Ex1÷Ex6 – înfășurările de excitație a motoarelor de tracțiune
- M1÷M6 - motoarele de tracțiune
- S4.19, S1.4÷S6.4, S1.5÷S6.5 - contactori de frânare
- S1.14÷S6.14 – inversor de mers
- S9.1÷S9.3 - , S10.1÷S10.3 – rezistențe de putere pentru frânare
- S1.9.1÷S6.9.1 – rezistențe de filtrare
- S4.13 – capacitate pentru filtru
- S4.1 – contactor de sarcină pentru regimul de motorului

4. CIRCUITELE SERVICIILOR AUXILIARE

Prin servicii auxiliare se înțeleg acele servicii de pe locomotivă care nu concură direct la dezvoltarea forței de tracțiune F_t , dar asigură buna funcționare a agregatelor de bază care concură la producerea forței de tracțiune. Ca servicii auxiliare se pot enumera:

- producerea aerului comprimat necesar instalațiilor de comandă electro-pneumatice și pentru instalația de frână pneumatică;
- răcirea forțată a motoarelor de tracțiune și a uleiului de transformator;
- răcirea forțată a rezistențelor din circuitul de frânare electrică a locomotivei;
- acționarea pompei pentru circuitul uleiului de răcire a grupului transformator;
- asigurarea confortului pentru personalul de deservire și călători (încălzire, aer condiționat etc).

Aceste servicii se pot realiza cu echipamente specifice (ventilatoare, pompe, compresoare) care sunt acționate de motoare electrice asincrone trifazate. Pentru funcționarea acestora se utilizează ca sursă de energie transformatorul de pe locomotivă care are o înfășurare specială (T1.12).

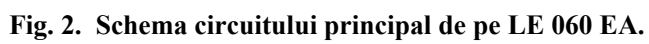
Această înfășurare este montată pe același miez magnetic cu înfășurarea de reglaj (T1.1). În Figura 4 se prezintă sistemul de alimentare cu convertire mono-trifazată statică, cu convertoare-invertoare.

Redresoarele de intrare sunt realizate în sistemul punților redresoare bialternanță semicomandate, având rolul de a menține tensiunea redresată de 540Vc.c. în condițiile unei variații a tensiunii la catenară de $\pm 20\%$ față de 25 kV. Aceasta este necesară deoarece invertoarele trebuie să mențină constanți parametrii de funcționare ai motoarelor serviciilor auxiliare când tensiunea în linia de contact variază în limite mari. Invertoarele trifazate sunt controlate independent, aceasta dând posibilitatea alimentării diferiților consumatori auxiliari cu frecvențe variabile.

Pornirea este realizată prin menținerea raportului U/f constant, începând de la tensiunea 0 până la $U = 380 \text{ V}$ și $f = 0 \text{ Hz}$ și $f = 50 \text{ Hz}$, în condițiile limitării curentului la valoarea nominală. În acest mod se evită șocurile la pornire și apariția cuplurilor mari la axul motorului.

Mersul lucrării

1. Se va studia și explica schema circuitelor principale ale locomotivei electrice LE060EA, identificându-se elementele principale și explicându-se funcționarea lor.
2. Se vor studia și explica circuitele de tracțiune în regim de tracțiune și în regim de frânare electrică reostatică.
3. Se vor studia și explica schemele circuitelor auxiliare.



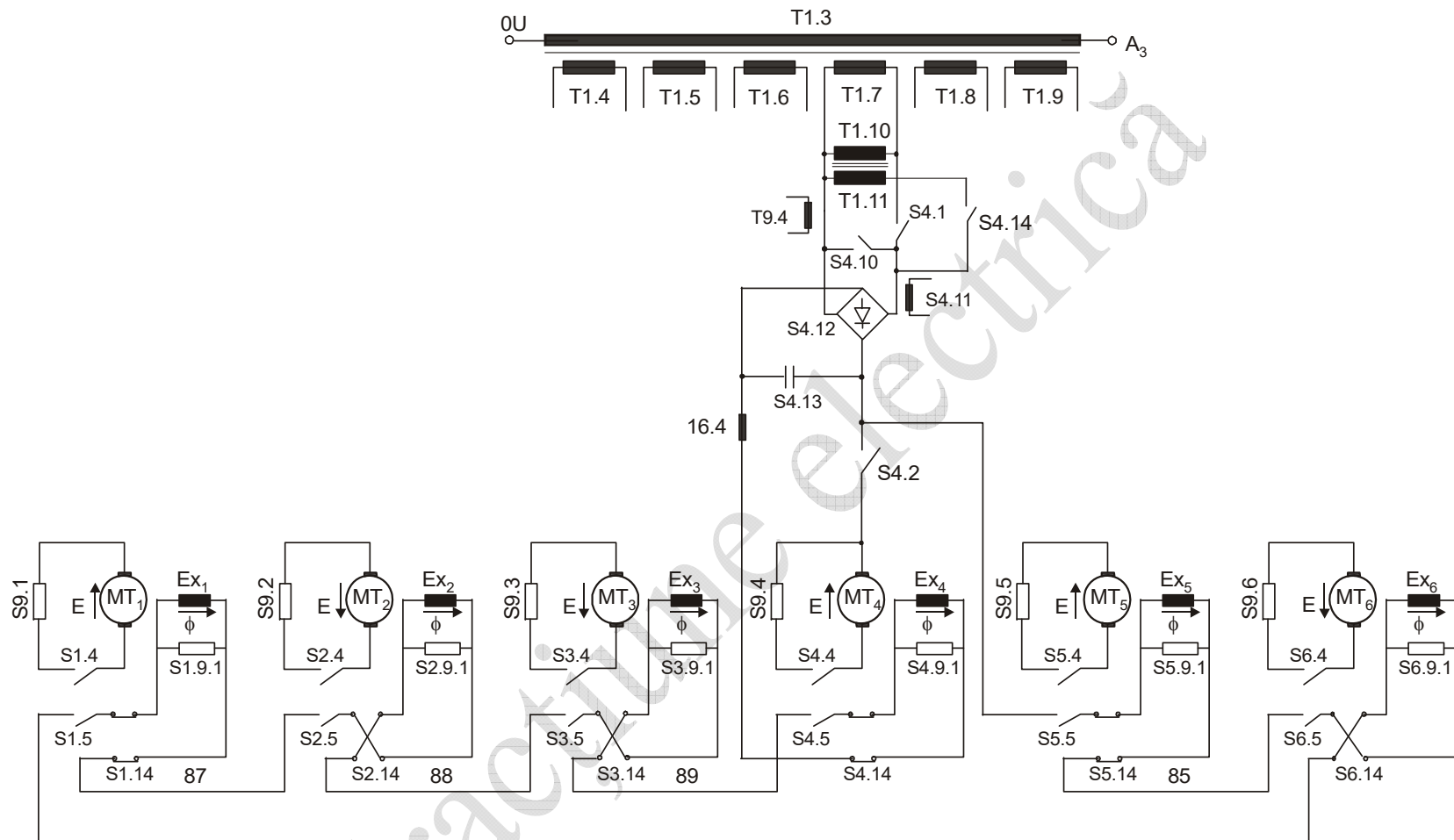
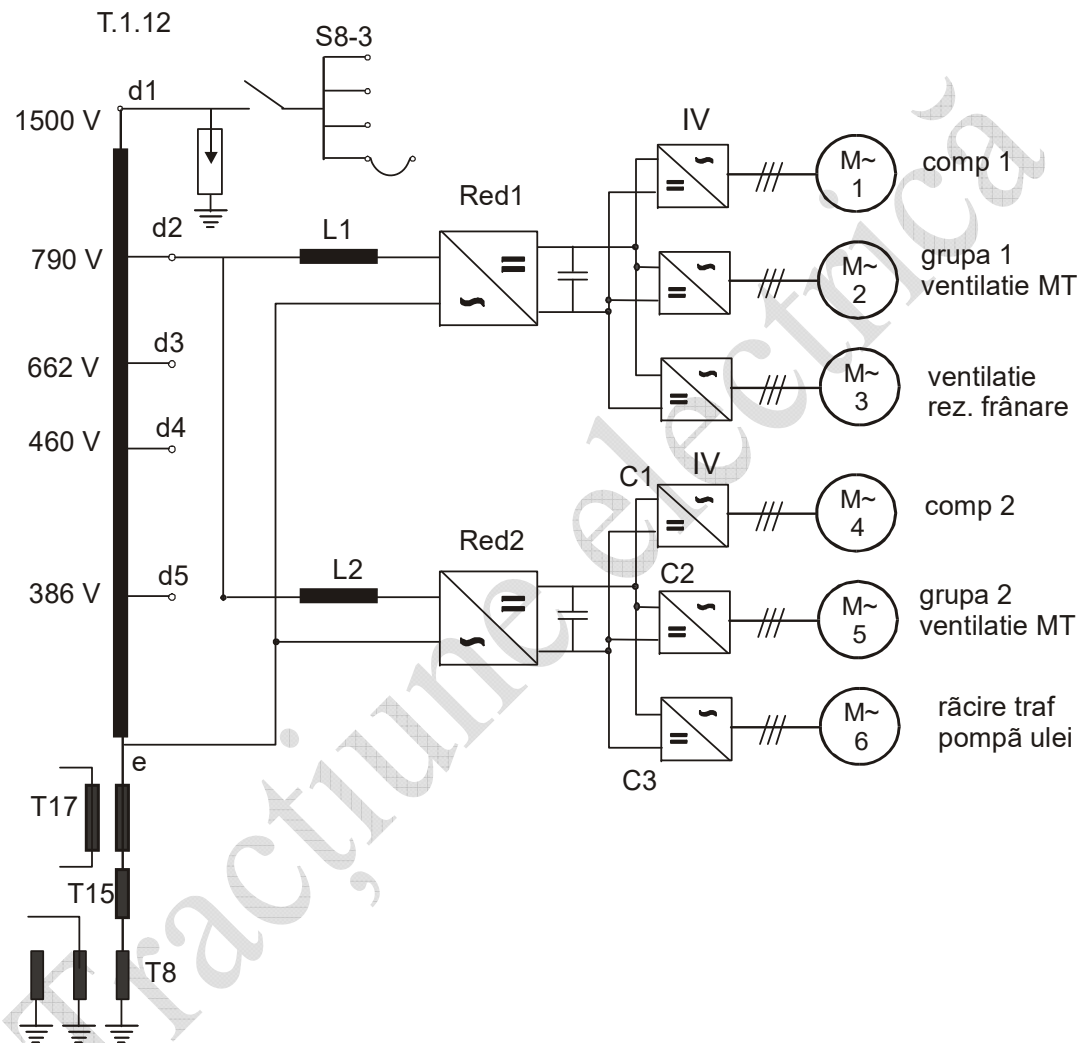


Fig. 3. Circuitul electric în regim de frânare electrică.



Autori: Ș.l.dr.ing. Gabriel Chiriac, Conf.dr.ing. Costică Nițucă