

Lucrarea 8

**Studiul circuitelor electrice de pe
locomotiva electrică românească LE-060-EA 5100KW**

1. Scopul lucrării

Cunoașterea și înțelegerea funcționării schemei principale în regim de tracțiune și de frânare electrică pentru locomotiva electrică românească LE060 5100kW.

2. 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 parametri 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.

Circuitele electrice de pe locomotivă sunt grupate astfel:

- circuitul principal (de forță);
- circuitul serviciilor auxiliare;
- circuitul de comandă și semnalizare.

Componentele circuitelor sunt grupate în blocuri de aparate și sunt interpușe în schemele electrice, pentru funcționabilitate și protecție. Aparatajul electric principal și al serviciilor auxiliare sunt amplasate în sala mașinii (locomotivei) în afară de motoarele de tracțiune și echipamentul de pe acoperiș.

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 tamponare		19800 mm
Înălțime cu pantograf ridicat		până la 6700 mm

3. Circuitele de înaltă tensiune

În centrul sălii mașinilor este amplasat ansamblul transformator construit ca o singură unitate care conține printre altele transformatorul principal T1, culegătoarele de înaltă tensiune T2.1 și T2.2, graduatorul T3, rezistența de trecere T4 (Figura 1).

Circuitul de înaltă tensiune este cuprins între pantografe și înfășurarea primară a transformatorului de tracțiune T 1.3 inclusiv. Transformatorul locomotivei este alimentat de la linia de contact (25 kV, 50 Hz) prin culegătoarele de curent (pantografele 1 și 2), separatoarele de acoperiș 3 și 4,

întrerupătorul principal 6 (disjunctur) și izolatorul de trecere prin acoperiș 8 (Figura 1).

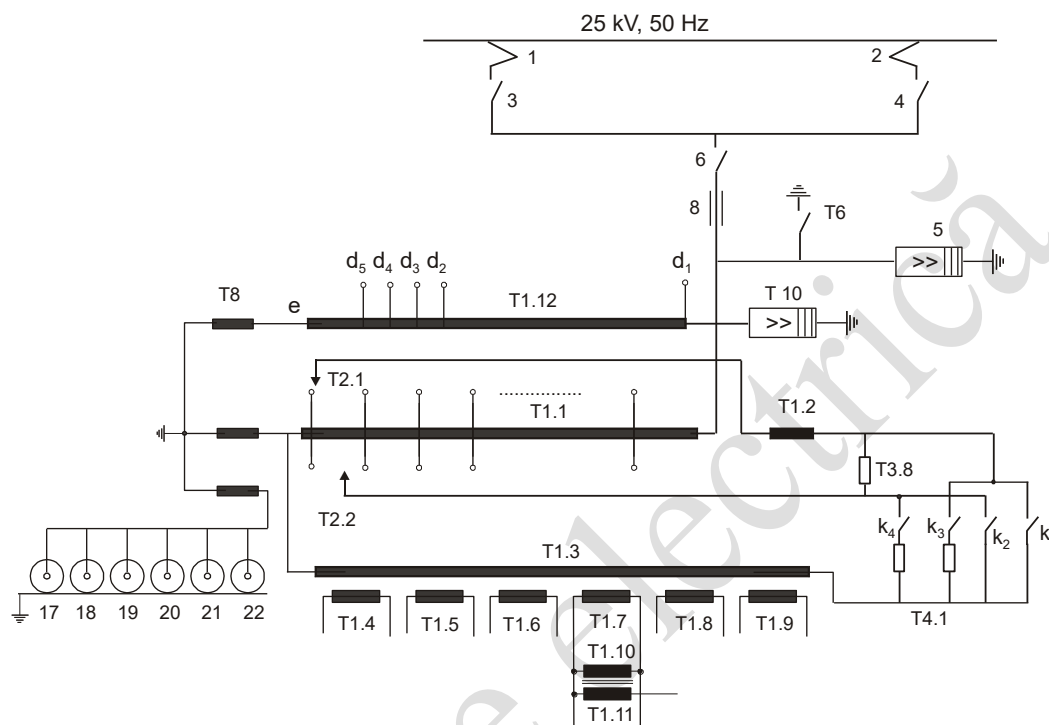


Figura 1. Circuitele de înaltă tensiune de pe LE060.

Disjunctorul este un întrerupător cu aer comprimat furnizat de compresoarele principale sau de la un compresor auxiliar alimentat de la baterie. Are rolul de a scoate de sub tensiunea liniei de contact înfășurarea de reglaj T 1.1, asigurând protecția întregii locomotive, având drept caracteristici: $U_n = 25\text{kV}$, $I_n = 400\text{A}$.

Deconectarea automată are loc dacă apar:

- Suprasarcini pe înaltă tensiune, în circuitele motoarelor de tracțiune sau a serviciilor auxiliare,
- scurtcircuite,
- puneri la masă provocate de deterioarea izolației.

Deconactarea de serviciu se face de către mecanic:

- înainte de trecerea prin zona neutrală,

- înainte de coborârea pantografului, după prealabila deconectare a motoarelor de tracțiune.

Descărcătorul de supratensiune 5 (pentru circuitul de 25kV) are rolul de a proteja echipamentele de pe LE față de:

- supratensiunile atmosferice,
- supratensiunile de comutare care pot apărea la deconectarea din circuit a înfășurărilor de înaltă tensiune a T1.1 sau la scurtcircuitare la comutarea culegătorilor de tensiune T2.1-2.
- Este conectat cu un capăt la o bornă a izolatorului de trecere iar cu celălalt capăt este conectat la masa locomotivei.

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.

Graduatorul

Graduatorul locomotivei LE 060-EA asigură deplasarea culegătoarelor T2 pentru comutarea prizelor, în același timp cu schimbarea legăturilor dintre culegătoare și transformatorul de tracțiune T 1.3, necesare pentru includerea temporară în circuit a rezistenței de trecere T 4.1.

Graduatorul are 40 de trepte de reglaj a tensiunii (2 x 20 prize) fiind acționat de un motor de curent continuu comandat de controlerul mecanicului. Graduatorul are două culegătoare care fac contact pe rând cu barele selectorului și conduc pe rând curentul. Culegătoarele nu comută sub sarcină, trecerea se face prin intermediul grupului de comutatoare K1-K4 și a rezistențelor de trecere T4.1 (50 conectări pe oră). 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 spirală 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 ($d1 \div d5$ 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 cuvă închisă în care se găsește uleiul de răcire. Uleiul de răcire este antrenat din cuvă spre răcitor printr-o pompă antrenată de un motor electric. Răcitorul este un radiator cu ventilație forțată.

4. Circuitele motoarelor de tracțiune

Fiecare motor de tracțiune de pe locomotiva electrică este alimentat cu energie electrică de la o înfășurare secundară T1.4. $\div$ 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 $\div$ S6.12 și filtrat prin selfurile de aplatizare 16.1 $\div$ 16.6. Circuitele de forță ale motoarelor de tracțiune împreună cu redresoarele și aparatajul electric pentru conectare-deconectare se grupează pe blocuri notate cu S1 $\div$ 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 (Fig. 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
- e_5 - 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 scurtcircuitul 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

- $k1 \div k4$ - contactori de sarcină

4.1. Circuitele motoarelor de tracțiune în regim de tracțiune

În regim de tracțiune, contactoarele $S1.1 \div S6.1$ și contactoarele $S1.3 \div S6.3$ 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: $S1.1 \div S6.14$ 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.

Redresoarele de pe LE 060-EA

Pe locomotivă sunt 6 punți redresoare, câte una pentru fiecare motor de tracțiune. Fiecare diodă este prevăzută cu un radiator din aluminiu, având următoarele date:

- Tensiunea inversă de vârf $U_j = 1500V$ (nerepetitivă),
- Curent mediu direct redresat $I_d = 300A$,
- Valoare de vârf a curentului direct repetitiv, 1500A.

Fiecare redresor este compus din 48 de diode dispuse pe 4 ramuri (A-D) legate în paralel și câte 3 pe fiecare ramură. Redresarea este de tip bialternanță. Curentul nominal este de 1250A la o tensiune de 810V, cu o valoare maximă de 1715A. Fiecare diodă este prevăzută cu un condensator de protecție montat în paralel.

4.2. 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 $S9.1 \div S9.6$ 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

5. 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.

Obținerea sistemului trifazat pe LE 060-EA

Motoarele serviciilor auxiliare sunt motoare trifazate alimentate de la T 1.12. Alimentarea MAS trifazate se face de la prizele d2/d3 , d4/d5 și priza de nul e. Condensatoarele C2..C7 decalează ca fază curentul cules de la prizele d2/d3 înaintea tensiunii culese de la prizele d4/d5. MAS de pe LE sunt calculate pentru a funcționa la tensiune constantă, dar tensiunea liniei de contact poate varia între 17,5 kV și 27,5 kV. Cum MAS trifazate dezvoltă un cuplu variabil la modificarea tensiunii de alimentare, rezultă că la 17,5kV motoarele dezvoltă un cuplu prea mic. Pentru ca ele să funcționeze la tensiune (aproximativ) constantă, două faze sunt alimentate de la două prize de la tensiuni diferite (d2/d3 și d4/d5). Trecerea se face la $U_{LC} = 21,5 \text{ kV}$ (pentru $U_{LC} < 21,5\text{kV}$ se alimentează de la d2/d4). Pentru a evita scurtcircuitarea lui T1.12 se folosesc rezistențe de comutare. La pornirea MAS se folosesc condensatoare de pornire (fiind folosit un singur grup pentru toate grupele de MAS). Prin urmare, grupele de MAS (sunt 5 grupe) nu pot fi pornite simultan.

Mașinie auxiliare sunt:

- Compresor principal (două) , aer pentru frâne.

- Compresor auxiliar (unul), (aer pentru pantograf și disjunctor).
- Ventilatoare: aer pentru răcire MT, RD, trafo, selfuri, rezistențe de frânare, cabine. Ventilator MT, 4kW, 380V; Pentru rez.fr. 11kW, pentru transformator 11kW.
- Pompa de ulei (răcire transformator).
- Graduatorul (acționat de un motor de c.c., 0,2kW, 110Vcc).

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.

Bibliografie

Constantin Bibire, Cartea mecanicului de locomotive electrice, Centrul Național de calificare și instruire feroviară, CENAFER, Brașov, 2016.

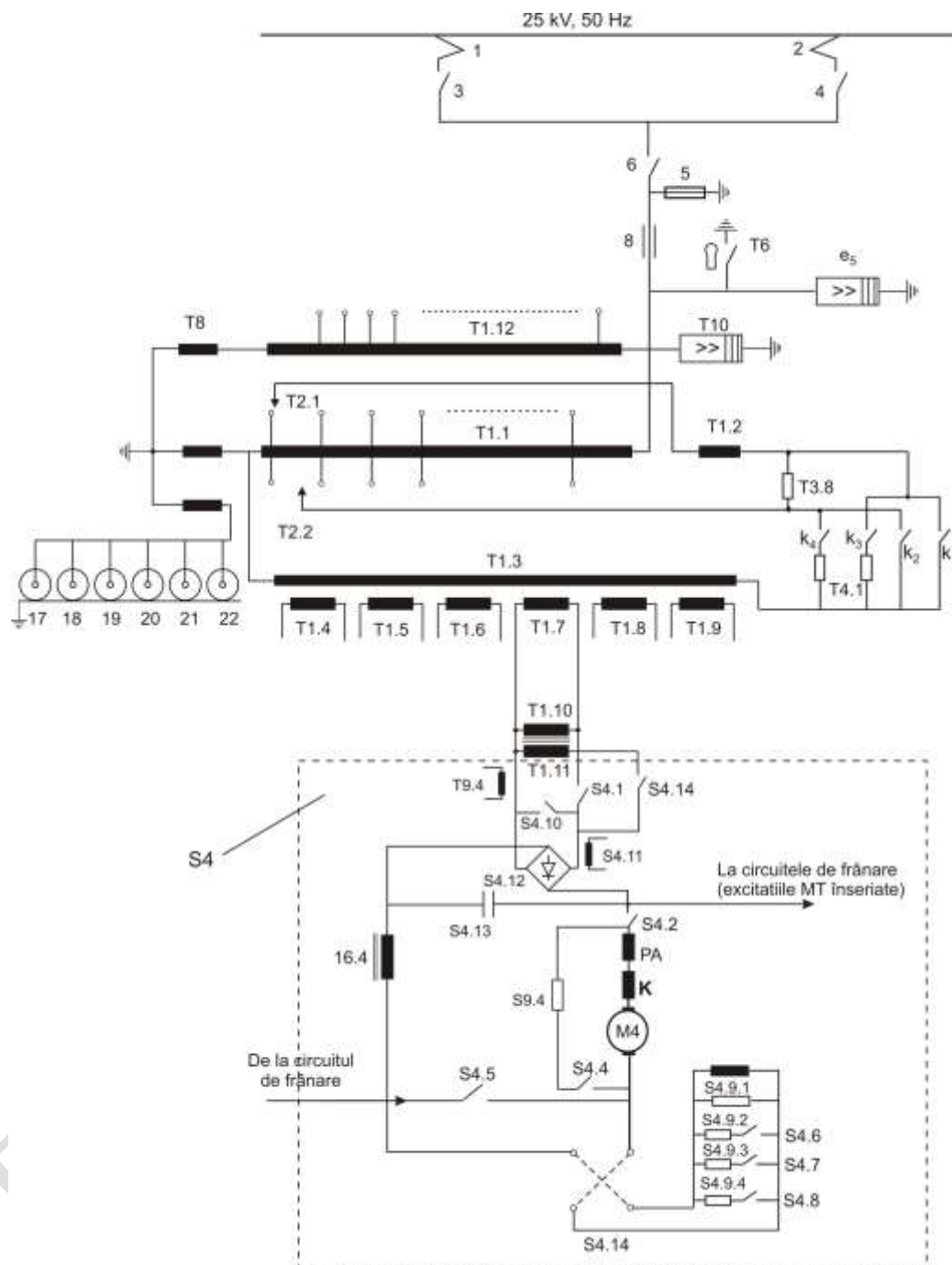


Figura 2. Schema circuitului principal de pe LE 060 EA.

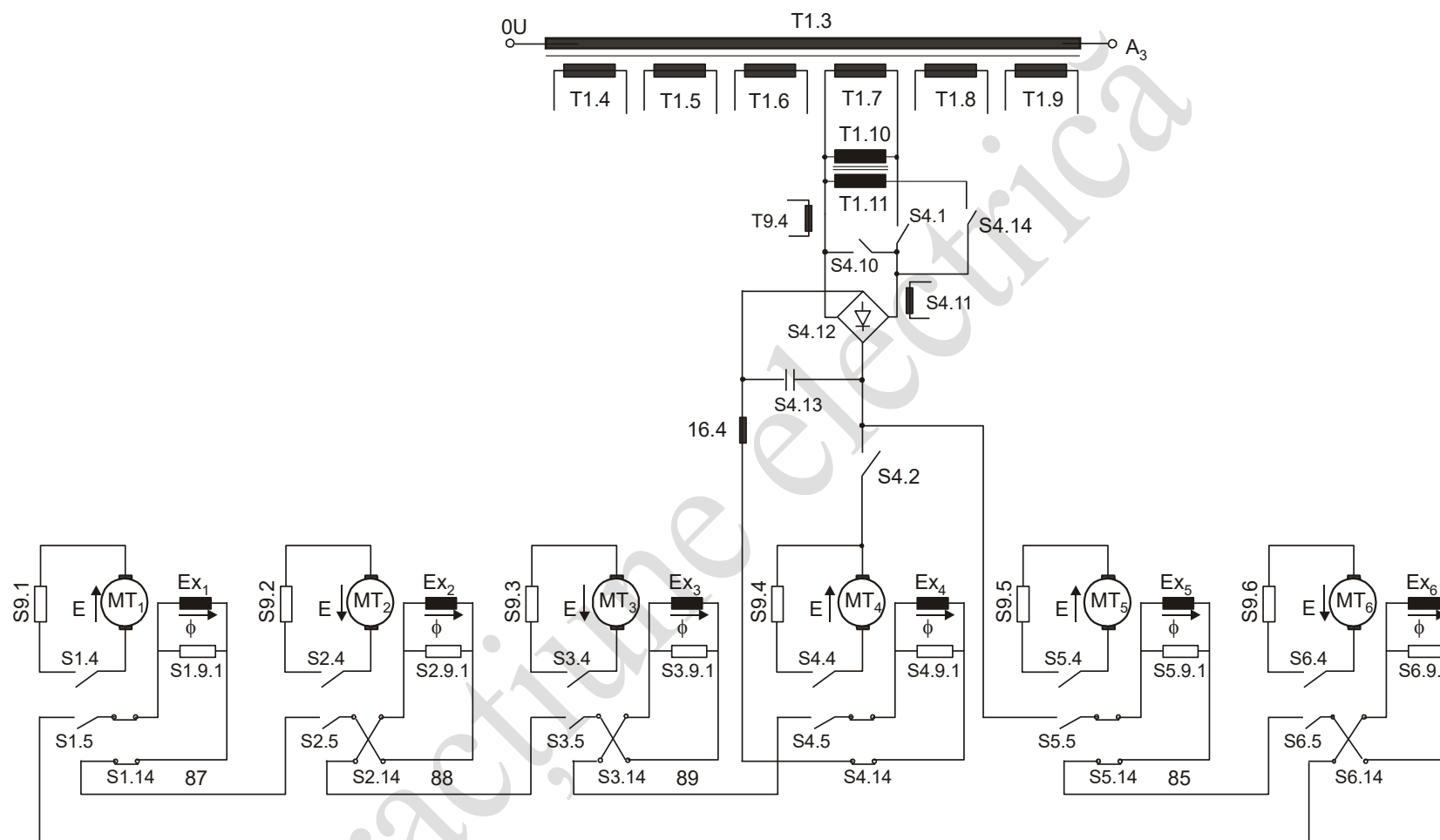


Figura 3. Circuitul electric în regim de frânare electrică.

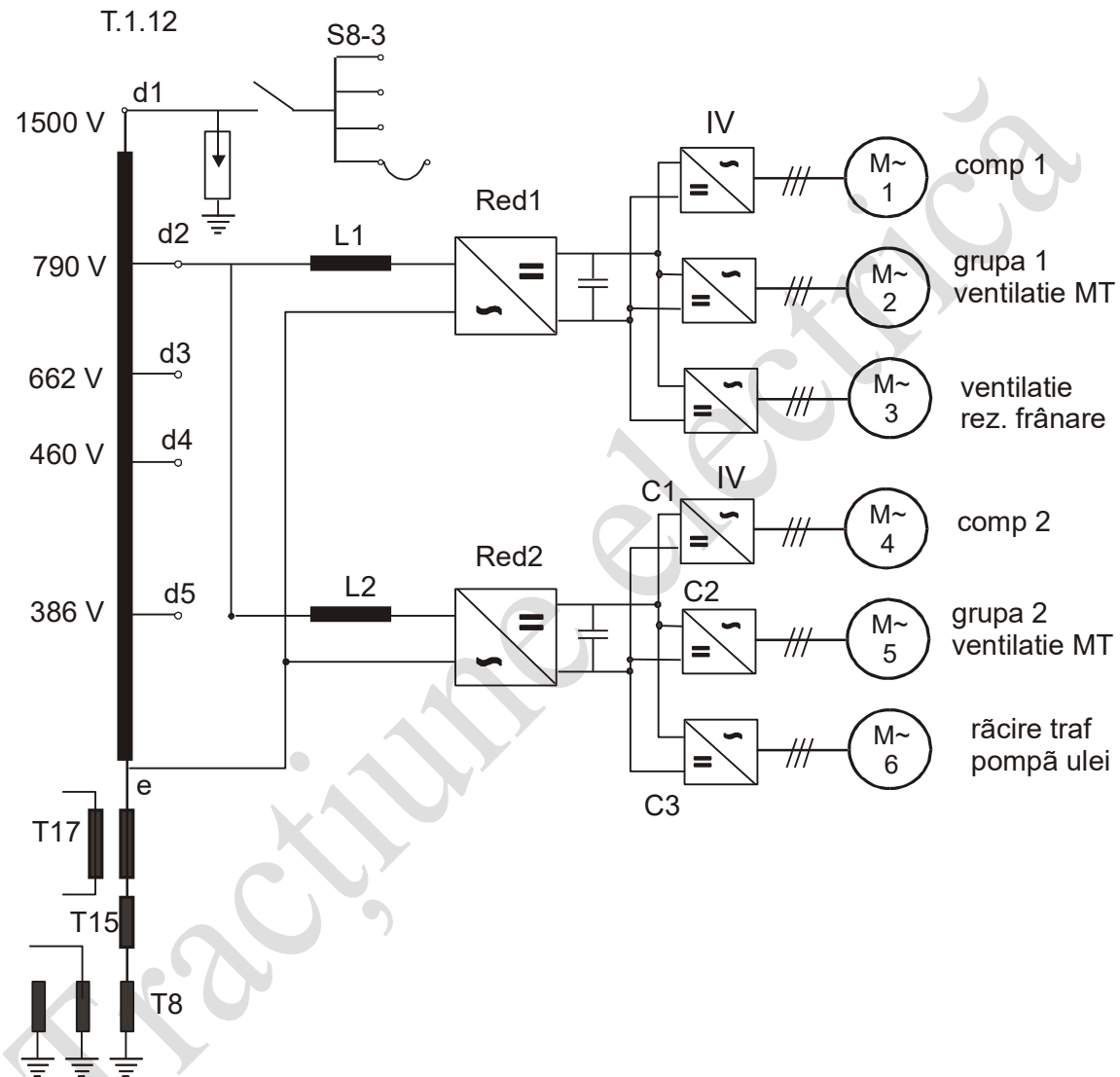


Figura 4. Schema electrică pentru alimentarea motoarelor serviciilor auxiliare.

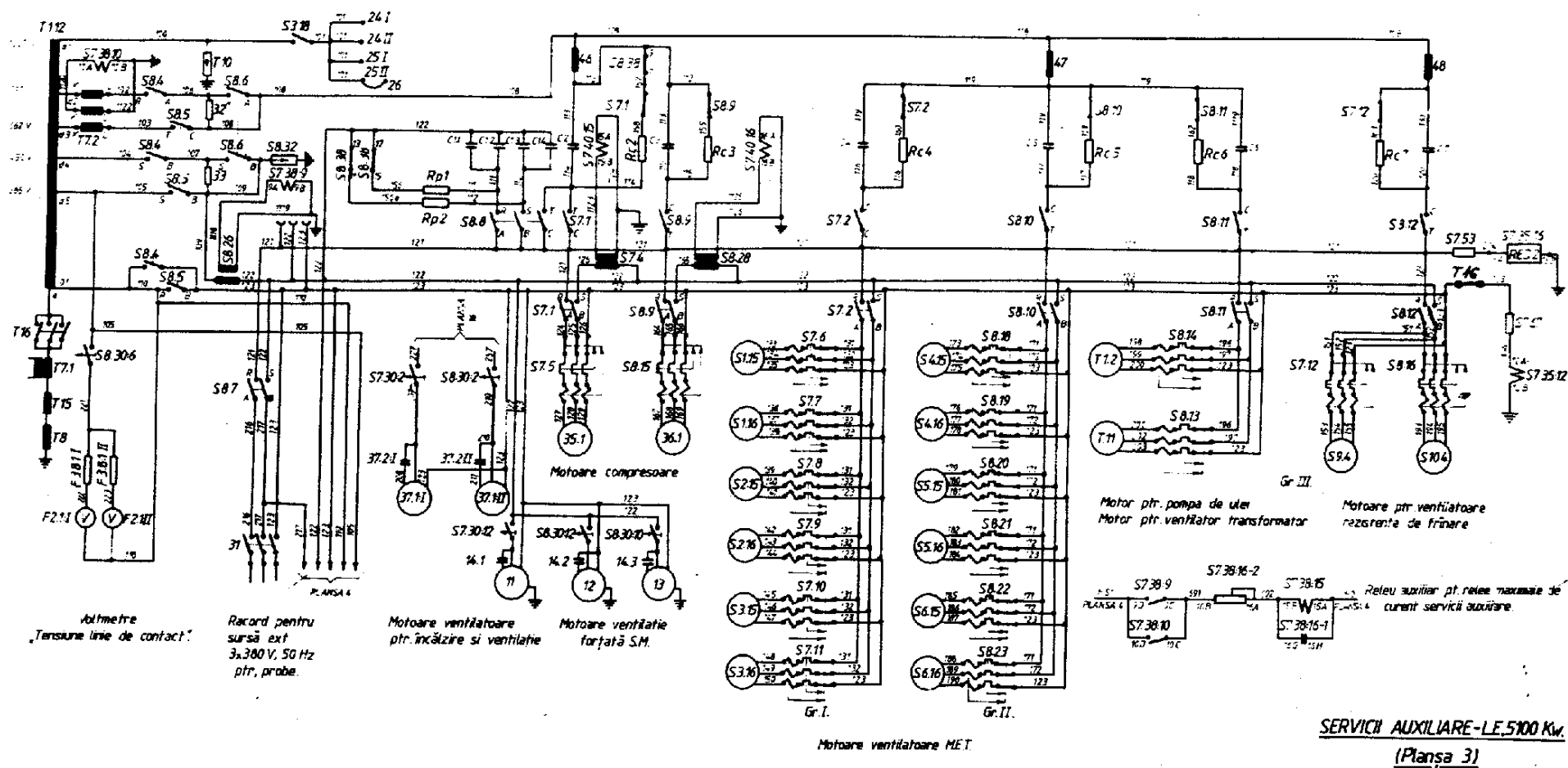


Figura 5. Schema serviciilor auxiliare de pe locomotiva LE5100 kW.