

# STUDIUL CARACTERISTICILOR DE TRACȚIUNE ȘI FRÂNARE LA RAMELE URBANE CU MOTOARE ASINCRONE DE TIP MABT<sub>i</sub>, OPTIME DIN PUNCT DE VEDERE DINAMIC ȘI ECONOMIC

**Dr. ing. Constantin BRINDUȘA**  
ICSITPML Craiova

Absolvent al Facultății de Electrotehnică a Universității din Craiova. Doctor în Inginerie electrică la Universitatea din Petroșani. Activitate de peste 20 ani în cercetare – dezvoltare la ICMET Craiova, ROMDATA AQ etc.. Autor a 7 brevete de invenții, autor articole științifice.



**Dr. ing. Dragoș PĂSCULESCU**  
Universitatea din Petroșani

Absolvent al Facultății de Mașini și Instalații Electromecanice a Universității din Petroșani. Doctor în Inginerie electrică la Universitatea din Petroșani. Activitate didactică și științifică, șef de lucrări la catedra de Sisteme electrice și energetice a Universității din Petroșani.



**Vlad Mihai PĂSCULESCU**  
Universitatea din Petroșani

Student în anul IV în cadrul Universității din Petroșani, Facultatea de Inginerie mecanică și electrică, domeniul Calculatoare și tehnologia informației, specializarea Calculatoare.



**Dr. ing. Mihai PĂSCULESCU**  
Universitatea din Petroșani

Absolvent al Facultății de Electromecanică Minieră din Institutul de Mine – Petroșani, promoția 1965. În prezent este profesor consultant la catedra Sisteme electrice și energetice din cadrul Universității din Petroșani. Conducător de doctorat în domeniul fundamental Științe inginerești, domeniul Inginerie electrică.



**REZUMAT.** Ramele electrice urbane au la bază vagoane motoare și vagoane pasive cuplate mecanic și electric. Schema de tracțiune permite obținerea de caracteristici de tracțiune și frânare rame urbane cu motoare MABT<sub>i</sub> optime din punct de vedere dinamic și economic. Pe baza motoarelor asincrone de tracțiune MABT<sub>i</sub> se pot dezvolta rame electrice urbane carcasare grea, masa 36 t / vagon; rame electrice urbane carcasare medie, masa 25 t / vagon; rame electrice urbane carcasare ușoară, masa 15 t / vagon. Diagramele serie date ( $F_o$ ,  $v$ ), Diagramele serie date ( $P_o$ ,  $v$ ), Diagramele serie date ( $R_p$ ,  $v$ ), Diagrama serie date ( $F_f$ ,  $v$ ) permit evidențierea performanțelor în tracțiune și frânare pentru ramele electrice REU-U, REU-M, REU-G.

**Cuvinte cheie:** tracțiune electrică, frânare electrică, rame electrice, caracteristici tracțiune, caracteristici frânare.

**ABSTRACT.** Urban multiple-unit electric trains are made of driving wagons and passive wagons, mechanically and electrically coupled. The traction - brake diagram enables to obtain dynamic and economic optimum traction characteristics for multiple-unit trains with asynchronous MABT<sub>i</sub> motors. Based on asynchronous traction MABT<sub>i</sub> motors, there can be developed multiple-unit electric trains with heavy housing, REU-G, 36 tones / wagon in mass, multiple-unit trains with medium housing, 25 tones / wagon in mass, REU-M, multiple-unit electrical trains with light housing, 15 tones / wagon in mass, REU-U. Data series diagrams ( $F_o$ ,  $v$ ), Data series diagrams ( $P_o$ ,  $v$ ), Data series diagram ( $R_p$ ,  $v$ ), Data series diagram ( $F_f$ ,  $v$ ) enables to underline the braking performance for multiple-unit electrical trains REU-U, REU-M, REU-G.

**Keywords:** electric traction, electric braking,, multiple-unit electrical trains, traction characteristics, braking characteristics.

## 1. INTRODUCERE

Trenurile urbane de suprafață (pe estacadă) sau subterane (metrou subteran) sunt compuse din entități motoare de bază numite rame electrice urbane. Ramele electrice urbane sunt compuse din vagoane motoare (VM), vagoane pasive (VP), cuplate mecanic elastic și electric între ele.

Trecerea accentuată la sistemele de acționare cu convertoare statice și motoare asincrone trifazate (CS + MA) se explică prin:

– avantajele ce decurg prin folosirea motorului asincron în tracțiune, avantaje legate de robustețea (siguranța) marită în funcționare și de raportul putere / masă net superioare motorului de curent continuu;

– salturile tehnologice în producerea de dispozitive electronice (GTO și IGBT);

**2. SCHEMA DE TRACȚIUNE / FRÂNARE:  
V2 (K = 2/2), V3 (K = 4/1)**

În figura 1 este prezentată Schema de tracțiune de principiu V2 (K = 2/2) pentru o ramă electrică VM+VM.

În figura 2 este prezentată Schema de tracțiune de principiu V3 (K = 4/1) pentru o ramă electrică de tipul VM+VM.

În procesul de proiectare s-a impus echiparea ramelor electrice urbane cu motoare asincrone de tracțiune din seria MAB T, dezvoltate de către Fabrica Mașini Electrice Rotative din cadrul SC Electroputere SA Craiova împreună cu Institutul Național de Cercetare Dezvoltare și Încercări în Electrotehnică ICMET Craiova.

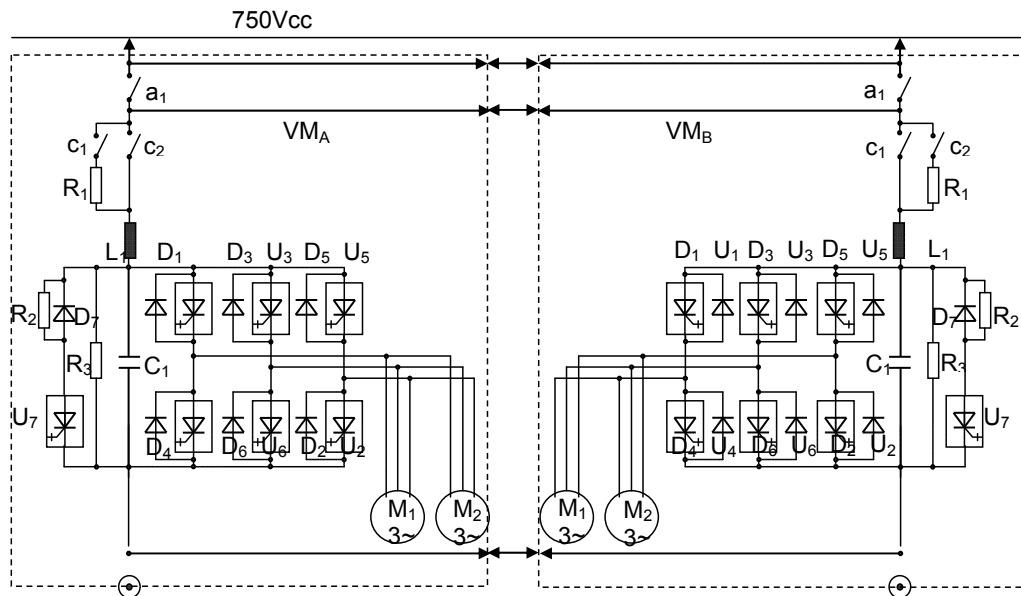


Fig. 1. Schema tracțiune / frânare de principiu; K = 2/2.

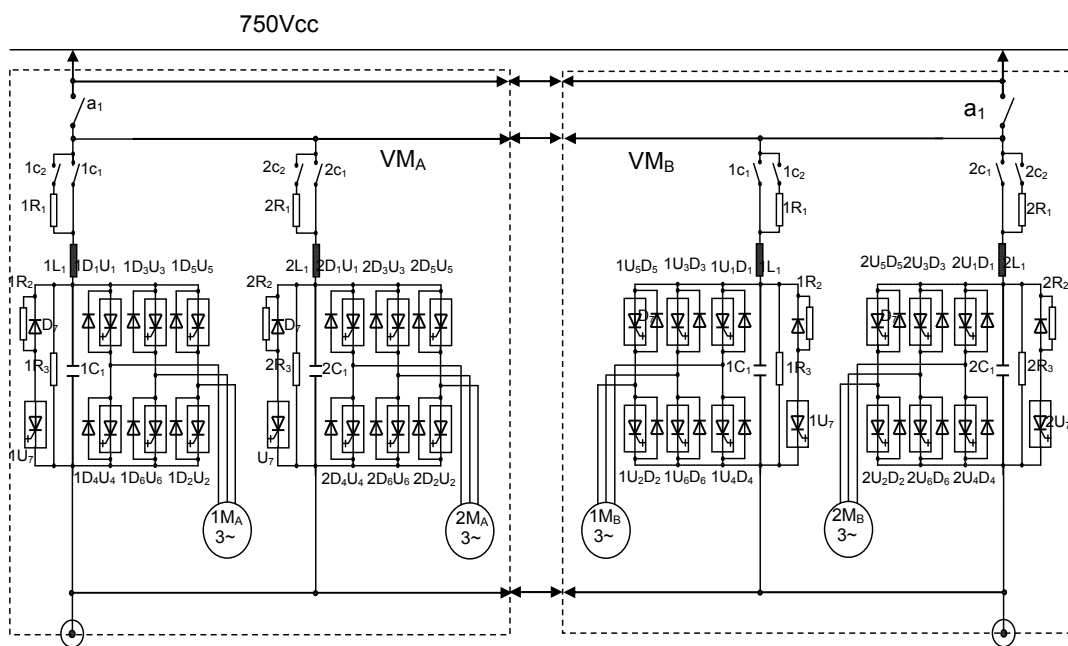


Fig. 2. Schema tracțiune / frânare de principiu; K = 4/1.

### 3. STABILIRE VARIANTE CONSTRUCTIVE RAME URBANE CU MOTOARE MABT<sub>1</sub>

Discuția se poate face în funcție de tipul de ramă electrică propusă, motorul de tracțiune pretabil a fi folosit (tabelul 1), și anume:

- rama electrică urbană carcasare grea, cu masa de 36 t / vagon;
- rama electrică urbană carcasare medie, cu masa de 25 t / vagon;
- rama electrică urbană carcasare ușoară, cu masa de 15 t / vagon.

Tabelul 1

Parametri de intrare sistem	Rama execuție grea REU-G	Rama execuție medie REU-M	Rama execuție ușoară REU-U
Structură rama electrică urbană	VM + VM	VM + VM	VM + VM
Formula osiilor, VM	B <sub>o</sub> + B <sub>o</sub>	B <sub>o</sub> + B <sub>o</sub>	B <sub>o</sub> + B <sub>o</sub>
Motor tracțiune	MAB T2 (Y)	MAB T1 (Y)	MAB T3 (Y)
Puterea nominală (P <sub>n</sub> ) [kW]	100	70	50
Număr motoare tracțiune (N <sub>M</sub> ) / VM+VM	8	8	8
Masa vagon (m <sub>V</sub> ) [t]	36	25	15
Număr vagoane ramă electrică (n <sub>VM</sub> )	2	2	2
Viteza maximă de exploatare (v <sub>M</sub> ) [km/h]	80	80	85
Randament angrenaj – reductor (η <sub>a</sub> )	0,95	0,95	0,95
Raport de transmisie angrenaj-reductor (i <sub>a</sub> )	1/5,375	1/5,375	1/5,375
Accelerație maximă (a <sub>M</sub> ) [m/s <sup>2</sup> ]	1,223	1,233	1,175
Diametrul roată, mediu uzată (D <sub>med</sub> ) [m]	0,87	0,87	0,87

### 4. CARACTERISTICI DE TRACȚIUNE RAME URBANE CU MOTOARE MABT<sub>1</sub>

Se pot estima pentru un vehicul cu tracțiune electrică parametri principali ai sistemului de propulsie. Astfel, pentru un vehicul de tip ramă electrică urbană, cu formula osiilor pentru vagonul motor: B<sub>o</sub> + B<sub>o</sub>, se pot estima:

$$\text{– turația m.: MT: } n_M = \frac{60v_M \cdot i_a}{3,6 \cdot \pi \cdot D_{med}} \text{ [rot/min]} \quad (1)$$

$$\text{– forța trac.: VM: } F_{OM} = a_M \cdot m_V \cdot n_{VM} \cdot k \text{ [kN]} \quad (2)$$

$$\text{– cuplul m.: MT: } M_{MMT} = 10^3 \frac{F_{MMT} \cdot D_{med}}{2 \cdot i_a} \text{ [Nm]} \quad (3)$$

$$\text{– turația: } n_i = \frac{9550 \cdot P_n}{M_{MM}} \text{ [rot/min]} \quad (4)$$

$$\text{– viteza: } v_i = \frac{3,6 \cdot \pi \cdot D_{med} \cdot n}{60 \cdot i_a} \text{ [km/h]} \quad (5)$$

$$\text{– F. trac.: } F_{oVM} = 10^{-3} \frac{2 \cdot M \cdot N_M \cdot i_a \cdot \eta_a}{D_{med}} \text{ [kN]} \quad (6)$$

În continuare, pe o structură de ramă electrică urbană, conform tabel 2, se pot concluziona parametri principali ai sistemului de propulsie.

Pe baza datelor din tabelele anterioare se pot prezenta diagramele din figura 3 în intenția de a se realiza o evaluare rapidă și sugestivă, vehicule de tip ramă electrică urbană carcasare grea REU-G, vehicule de tip rama electrică urbană carcasare medie REU-M și vehicule de tip ramă electrică urbană carcasare ușoară REU-U.

Tabelul 2

Parametri sistem	Rama carcasare grea REU-G	Rama carcasare medie REU-M	Rama carcasare ușoară REU-U
Structură ramă electrică urbană	VM + VM	VM + VM	VM + VM
Formula osiilor VM	B <sub>o</sub> + B <sub>o</sub>	B <sub>o</sub> + B <sub>o</sub>	B <sub>o</sub> + B <sub>o</sub>
Motor tracțiune	MAB T2 (Y)	MAB T1 (Y)	MAB T3 (Y)
P <sub>n</sub> [kW]	100	70	50
p	3	3	2
n <sub>M</sub> [rot/min]	2623,4	2623,4	2623,4
F <sub>oM</sub> [kN]	79,27	55,48	31,77
M <sub>MMT</sub> [Nm]	844	591	338
n <sub>i</sub> [rot/min]	1131,5	1131,5	1414,5
v <sub>i</sub> [km/h]	34,5	34,5	43,13
M <sub>nM</sub> [Nm]	364	254,8	182
F <sub>oVM</sub> [kN]	34,18	23,93	17,09

### 5. CARACTERISTICILE DE FRÂNARE RAME URBANE ECHIPATE CU MOTOARE ASINCRONE MABT<sub>1</sub>

Ținând cont de echiparea ramelor electrice urbane cu motoare asincrone de tracțiune din seria MAB T, dezvoltate de SC Electroputere SA Craiova, împreună cu Institutul Național de Cercetare Dezvoltare și Încercări în Electrotehnică ICMET Craiova (tabelul 3), pentru trasarea caracteristicii de franare electrodinamică, pentru un vehicul de tip ramă electrică urbană, cu formula osiilor pentru vagonul motor: B<sub>o</sub> + B<sub>o</sub>, se pot estima:

$$\text{– forța frânare m.: } F_{FM} = \frac{F_{oM}}{\eta_M \cdot \eta_a} \text{ [kN]} \quad (7)$$

REU-U $F_0$ [kN]	REU-M $F_0$ [kN]	REU-G $F_0$ [kN]	$v$ [km/h]	Nr. citire
31,77	55,48	79,27	0	1
31,77	55,48	79,27	5	2
31,77	55,48	79,27	10	3
31,77	55,48	79,27	15	4
31,77	55,48	79,27	20	5
31,77	55,48	79,27	25	6
31,77	55,48	79,27	30	7
31,77	55,48	79,27	35	8
31,77	47,85	68,37	40	9
30,45	42,53	60,77	45	10
27,41	38,28	54,70	50	11
24,91	34,80	49,72	55	12
22,84	31,90	45,60	60	13
21,08	29,45	42,07	65	14
19,57	27,34	39,07	70	15
18,27	25,52	36,46	75	16
17,13	23,93	34,18	80	17

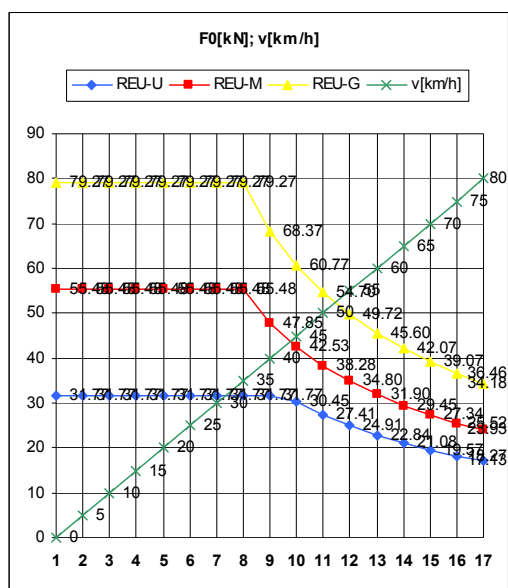


Fig. 3. Diagrama serie date ( $F_0$ ,  $v$ ), in cazul: REU-U, REU-M, REU-G.

– puterea de frânare:  $P_F = R_F \cdot I_F^2$  [kW] (8)

– forța frânare:  $F_F \cdot v = 3,6 \cdot P_F$  [kW] (9)

– viteza:  $v_k = \frac{3,6 \cdot P_F}{F_{FM}}$  [km/h] (10)

Pe o structură de ramă electrică urbană, conform tabelului 3, se pot concluziona parametrii principali ai sistemului de propulsie. Pe baza datelor din tabellele anterioare se pot prezenta diagramele din figura 4.

Tabelul 3

Parametrii sistem	Rama execuție grea REU-G	Rama execuție medie REU-M	Rama execuție ușoară REU-U
Structură ramă electrică	VM + VM	VM + VM	VM + VM
Formula osiilor VM	$B_o + B_o$	$B_o + B_o$	$B_o + B_o$
Motor tracțiune	MAB T2 (Y)	MAB T1 (Y)	MAB T3 (Y)
$P_n$ [kW]	100	70	50
$p$	3	3	2
$n_M$ [rot/min]	2623,4	2623,4	2623,4
$n_{0M}$ [rot/min]	2700	2700	2700
$f_M$ [Hz]	135	135	90
$F_{oM}$ [kN]	79,27	55,48	31,77
$\eta_M$	0,9	0,87	0,89
$\eta_A$	0,95	0,95	0,95
$R_F$ [ $\Omega$ ]	1,2	1,8	2,3
$I_F$ [A]	450	320	210
$F_{FM}$ [kN]	92,71	67,13	37,57
$P_F$ [kW]	243	184	101
$v_k$ [km/h]	9,43	9,87	9,68

## 6. CONCLUZII

Trenurile urbane de suprafață (pe estacadă) sau subterane (metrou subteran) sunt compuse din entități motoare de bază numite rame electrice urbane.

Ramele electrice urbane reprezintă unitatea de bază în alcătuirea trenurilor electrice urbane de tip metrou și sunt formate, de regulă, din vagoane motoare (VM + VM), cuplate mecanic și electric.

Pe baza motoarelor de tracțiune MABT; se pot dezvolta rame electrice urbane carcasare grea, 36t / vagon; rame urbane carcasare medie, 25 t / vagon; rame urbane carcasare ușoară, 15 t / vagon (REU-G, REU-M, REU-U)..

Schemele de tracțiune cu convertoare statice și motoare asincrone trifazate (CS + MAT) permit obținerea de caracteristici de tracțiune rame urbane cu motoare MABT; optime din punct de vedere dinamic și economic.

Diagramele serie date ( $F_0$ ,  $v$ ), Diagramele serie date ( $P_0$ ,  $v$ ), Diagramele serie date ( $R_p$ ,  $v$ ), permit evidențierea performanțelor în tracțiune pentru vehicule de tip ramă electrică urbană carcasare grea REU-G, vehicule de tip rama electrică urbană carcasare medie REU-M și vehicule de tip ramă electrică urbană carcasare ușoară REU-U.

Schemele de tracțiune - frânare cu convertoare statice și motoare asincrone trifazate (CS + MAT) permit obținerea de caracteristici de frânare rame urbane cu MABT; optime din punct de vedere dinamic și economic.

Diagramele serie date ( $F_F$ ,  $v$ ) permit evidențierea performanțelor în regimul de frânare electrică pentru vehicule de tip ramă electrică urbană REU-G, vehicule de tip ramă electrică REU-M și vehicule de tip ramă REU-U.

## STUDIUL CARACTERISTICILOR DE TRACȚIUNE ȘI FRÂNARE LA RAMELE URBANE

REU-U $F_F$ [kN]	REU-M $F_F$ [kN]	REU-G $F_F$ [kN]	$v$ [km/h]	Nr. citire
0.00	0.00	0.00	0	1
18.78	33.56	46.36	5	2
36.36	66.24	92.71	10	3
24.24	44.16	58.32	15	4
18.18	33.12	43.74	20	5
14.55	26.50	34.99	25	6
12.12	22.08	29.16	30	7
10.39	18.93	24.99	35	8
9.09	16.56	21.87	40	9
8.08	14.72	19.44	45	10
7.27	13.25	17.49	50	11
6.61	12.04	15.90	55	12
6.06	11.04	14.58	60	13
5.59	10.19	13.46	65	14
5.19	9.46	12.50	70	15
4.85	8.83	11.66	75	16
4.55	8.28	10.93	80	17

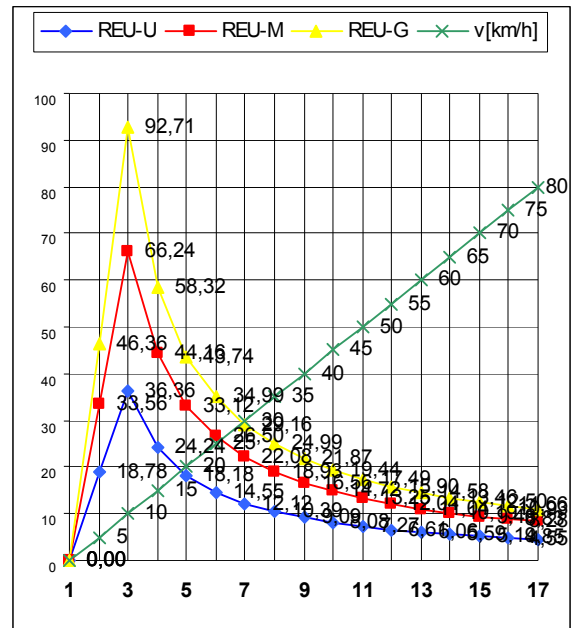


Fig. 4. Diagrama serie date ( $F_F$ ,  $v$ ), în cazul: REU-U, REU-M, REU-G.

### Anexa 1

#### Tip Invertor tracțiune: CS 480 - invertor tensiune. Vedere Modul Faza R decuvat

Tip	CS 480
Tensiune de lucru (V)	DC 750 (-30%+ 20%)
Putere ieșire (kW)	480
Proiectant	ICMET Craiova



## BIBLIOGRAFIE

1. Beck, H.P., Engel, B., *New Control Concept for Overload Minimized Traction Drives*, EPE, Sevilla, 1995.
2. Brîndușa, C. ș.a., „Sisteme electrice de transport neconvenționale (A23). Rama de metrou acționată cu motoare asincrone”; Contract cercetare 606C, Institutul Național de Cercetare Dezvoltare și Încercări în Electrotehnică, ICMET Craiova, Craiova, 1992.
3. Brîndușa, C., „Sisteme de acționare cu convertoare statice și motoare asincrone în tracțiunea electrică urbană”, Teză de doctorat, Universitatea din Petroșani, Petroșani, 2007.
4. Brîndușa, C., Contract C&D: „Proiectare echipamente acționare vehicule urbane și interurbane”, Contract cadru perioada: 2003 – 2008 nr.: 09 / 17.04.2003, coordonator contract: SC ECPRO Craiova, Beneficiar: SC INDA ELTRAC SA Craiova, 2003.
5. Brîndușa, C., Păsculescu, M., Păsculescu, D., „Tensions invertors with commutation on two levels. Mathematical modeling. Structural diagram”, *Annals of the University of Petrosani, Electrical Engineering*, vol. 9, Editura Universitas Publishing House, Petrosani, 2007, ISSN 1454-8518.