



**Universitatea Tehnică a Moldovei**  
**Facultatea Energetică și Inginerie Electrică**  
**Departamentul Inginerie Electrică**

**Modernizarea stației de tracțiune de current continuu  
pentru troleibuze**

**Teză de master la specialitatea**  
**Inginerie Electrică**

**Student: Untila Gheorghe**  
**Conducător: lect.univ.dr. Cazac Vadim**

**Chișinău 2023**

**Universitatea Tehnică a Moldovei**  
**Facultatea Energetică și Inginerie Electrică**  
**Departamentul Inginerie Electrică**

**Admis la susținere**

Șef departament dr.conf. Ilie NUCA

---

„\_” \_\_\_\_\_ 2023

**Modernizarea stației de tracțiune de current continuu  
pentru troleibuze**

**Teză de master la specialitatea**  
**Inginerie Electrică**

**Student:** \_\_\_\_\_ (Untila Gheorghe)

**Conducător:** \_\_\_\_\_ (Cazac Vadim)

**Chișinău 2023**

## Rezumat

**Teza conține:** 61 pagini, 33 ilustrații, 11 tabele și 32 surse bibliografice.

**Cuvinte cheie:** troleibuz, stație de tracțiune, redresor, curent continuu, randament, transformator de tensiune, pierderi de mers în gol.

**Scopul general al tezei:** Identificarea soluțiilor privind modernizarea stației de tracțiune Nr.2 din cadrul Î.M., „Regia Transport Electric Chișinău”.

**Memoriul explicativ cuprinde** introducerea și cele 3 capitole.

Capitolul 1 include analiza situației actuale al stațiilor de tracțiune din cadrul Întreprinderii Municipale „Regia Transport Electric Chișinău”, date tehnice și funcționale ale obiectului de investigare, analiza situației existente și identificarea deficiențelor tehnice, echipamentul instalațiilor de distribuție 6-10 kV, transformatoarele de servicii proprii, transformatoarele de putere pentru alimentarea instalațiilor de redresare, cabluri de alimentare în curent alternativ, cabluri de alimentare în curent continuu, sistemul de telemecanică și transmisie de date și analiza problemelor actuale la stația de tracțiune Nr.2.

În cel de al doilea capitol, s-a analizat criteriile tehnice de modernizare a substației de tracțiune Nr.2 al RTEC. Au fost identificate structurile generale moderne al stațiilor de tracțiune pentru troleibuze și s-a propus structura generală a stației de tracțiune modernizate cu sistem de recuperare a energiei. Pentru modernizarea stațiilor de tracțiune s-a identificat echipamentul modern de forță la instalațiile de distribuție de tensiune medie, parametrii întrerupătoarelor de racord, parametrii întrerupătoarelor de cuplă, parametrii separatoarelor, parametrii transformatoarelor de curent, parametrii transformatoarelor de tensiune și caracteristicile generale a echipamentelor.

Capitolul 3 include metodologia de calcul a puterii stațiilor de tracțiune, a fost efectuat calculul pierderilor de mers în gol al transformatoarelor de tip TMPUM-1200/10 instalate la stația de tracțiune Nr.2. Se propune reducerea pierderilor prin compensarea puterii reactive, s-a identificat soluții moderne de protecție prin relee și automatizare. Se propune sporirea eficienței energetice prin frînarea electrică și se identifică soluții noi pentru înlocuirea grupurilor redresoare. Pentru eficientizarea regimurilor de funcționare se propune implementarea sistemului de monitorizare/comandă SCADA.

## Summary

**The thesis contains:** 61 pages, 33 illustrations, 11 tables and 32 bibliographic sources.

**Keywords:** trolleybus, traction station, rectifier, direct current, efficiency, voltage transformer, idling losses.

**The general purpose of the thesis:** Identification of solutions regarding the modernization of traction station No. 2 within the Î.M., Regia Transport Electric Chiținău".

**The explanatory memorandum** includes the introduction and the 3 chapters.

Chapter 1 includes the analysis of the current situation of the traction stations within the Municipal Enterprise "Regia Transport Electric Chisinau", technical and functional data of the object of investigation, the analysis of the existing situation and the identification of technical deficiencies, the equipment of the 6-10 kV distribution facilities, the transformers own services, power transformers for powering rectification facilities, alternating current power cables, direct current power cables, telemechanics and data transmission system and analysis of current problems at traction station No. 2.

In the second chapter, the technical criteria for the modernization of traction substation No. 2 of RTEC were analyzed. The modern general structures of traction stations for trolleybuses were identified and the general structure of modernized traction station with energy recovery system was proposed. For the modernization of the traction stations, the modern power equipment at the medium voltage distribution facilities, the parameters of the connection switches, the parameters of the coupling switches, the parameters of the separators, the parameters of the current transformers, the parameters of the voltage transformers and the general characteristics of the equipment were identified.

Chapter 3 includes the methodology for calculating the power of the traction stations, the calculation of the no-load losses of the TMPUM-1200/10 type transformers installed at the traction station No. 2 was carried out. It is proposed to reduce losses by compensating the reactive power, modern protection solutions through relays and automation have been identified. It is proposed to increase energy efficiency through electric braking and identify new solutions for replacing rectifier groups. In order to make the operating regimes more efficient, it is proposed to implement the SCADA control/monitoring system.

## CUPRINS

INTRODUCERE .....	4
1. ANALIZA SITUAȚIEI ACTUALE AL STAȚIILOR DE TRACȚIUNE DIN CADRUL ÎNȚREPRINDERII MUNICIPALE „REGIA TRANSPORT ELECTRIC CHIȘINĂU” .....	5
1.1.Date tehnice și funcționale ale obiectului de investigare .....	5
1.2.Analiza situației existente și identificarea deficiențelor tehnice .....	10
1.3.Echipamentul instalațiilor de distribuție 6-10 kV .....	11
1.4.Transformatoare de servicii proprii .....	14
1.5 Transformatoare de putere pentru alimentarea instalațiilor de redresare .....	14
1.6 Cabluri de alimentare în curent alternativ .....	16
1.7 Protecție prin rele și automatizări .....	17
1.8 Grupuri de redresare tracțiune electrică .....	17
1.9 Celule intrare redresor și celule de plecare bara ”+” și bara ”-” .....	19
1.10 Panouri de joasă tensiune de curent alternativ și curent continuu.....	20
1.11 Cabluri de alimentare în curent continuu .....	20
1.12 Sistemul de telemecanică și transmitere date.....	22
1.13 Probleme actuale la stația de tracțiune Nr. 2.....	24
2. IDENTIFICAREA CRITERIILOR DE MODERNIZARE A SUBSTAȚIILOR DE REDRESARE.....	27
2.1.Criterii tehnice de modernizare a substației de tracțiune Nr.2 RTEC .....	27
2.2.Identificarea structurilor generale moderne al stațiilor de tracțiune pentru troleibuze.....	28
2.3.Identificarea echipamentului modern de forță pentru instalațiile de distribuție de tensiune medie .....	30
3. METODOLOGIA DE CALCUL A PUTERII STAȚIILOR DE TRACȚIUNE .....	35
3.1.Calculul pierderilor de mers în gol al transformatoarelor de tip TMPUM-1200/10 instalate la stația de tracțiune Nr.2 .....	35
3.2.Reducere pierderilor prin compensare puterii reactive .....	37
3.3 Identificarea soluțiilor moderne de protecție prin rele și automatizare .....	38
3.4 Sporirea eficienței energetice prin frânarea electrică.....	38
3.5 Identificarea soluțiilor noi pentru înlocuirea grupurilor redresoare .....	39
3.6 Sistemul de monitorizare/comandă SCADA – eficientizarea regimurilor de funcționare .....	41
CONCLUZII.....	45
BIBLIOGRAFIE .....	46
ANEXA 1 .....	48

## INTRODUCERE

În mediul urban, în general, și în aglomerațiile urbane, în mod special, transportul public de călători reprezintă un element cheie care conectează comunitatea la obiectivele strategice de dezvoltare economică, socială. Serviciile de transport public de călători reprezintă un liant între dezideratele economice și sociale ale comunității cu un impact major asupra calității vieții. Calitatea vieții este un concept cheie atât în strategiile de dezvoltare națională, cât și în cele comunitare, atingerea acestui țel fiind legată de costul alocării resurselor pentru dezvoltarea economică-socială. Municipiul Chișinău reprezintă o comunitate socială, economică, culturală care și-a conturat direcțiile de dezvoltare într-un plan multidimensional, centrat pe calitatea vieții, stimularea inovării, creativității și competitivității, dezvoltare urbană și planificare spațială, identitate și simbioză multiculturală. Tocmai de aceea, interesul și orientarea guvernantei publice locale de a crește valoarea indicatorilor de calitate a vieții este evident și deplin justificat. Profilul multidimensional al municipiului, avansează între acești indicatori de calitate a standardului de viață - accesul la servicii publice (educație, sănătate, cultură), calitatea mediului, calitatea sistemului de transport public de călători și reducerea costurilor financiare privind viața cotidiană. În cadrul serviciilor publice, serviciul de transport public de călători al municipalității este cel mai apreciat serviciu aflat la dispoziția cetățeanului și al comunității. Serviciile de transport public se realizează de către compania de transport public local.

Întreprinderea Municipală "Regia Transport Electric" din Chișinău (RTEC) este singura organizație care asigură transportul de pasageri cu troleibuze/electrobuze în oraș și unele suburbii. Pentru alimentarea cu energie electrică a transportului electric urban, RTEC dispune de o infrastructură tehnică specială, care cuprinde 42 stații de tracțiune de alimentare în curent continuu cu tensiunea  $\pm 600V$  cu puterea totală instalată de peste 80 MW și o rețea de contact de 600 VCC în două fire de curent continuu cu lungimea de 269 km, 6919 piloni, 128 intersecții și 346 macaze auto sau convergente.

Recent, în legătură cu creșterea fluxului de trafic și reducerea intervalului de circulație a troleibuzelor crește cererea de dispozitive inteligente de protecție prin relee, prevăzute pentru protecția rețelelor de contact împotriva suprasarcinilor și a curenților de scurtcircuit. În primul rând, acest lucru se datorează faptului că, în timpul evenimentelor de urgență care apar în rețelele de alimentare cu energie electrică de tracțiune după declanșarea întrerupătorului cu acționarea rapidă, estimarea rapidă și precisă a regimului de avarie pentru o luare de decizii cât mai eficientă și

recuperarea alimentării cu energie electrică a sistemului de alimentare și a materialului rulant în cel mai scurt timp posibil este un factor critic pentru personalul operațional.

## BIBLIOGRAFIE

1. Simion Caisin, Aurelia Șveț, Natalia Halaim. Chișinău 2014, pp. 1-3. *Proiectul Energie și Biomasă în Moldova*. Disponibil: [http://biomasa.md/wp-content/uploads/2016/06/Surse-de-energie-regenerabile\\_ROM\\_2015\\_Web-micsorat.pdf](http://biomasa.md/wp-content/uploads/2016/06/Surse-de-energie-regenerabile_ROM_2015_Web-micsorat.pdf) , Accesat 16.03.2021.
2. Ion Sobor, Diana Caraghiaur, Șota Nasadze, Surse regenerabile de energie : Curs de prelegeri, Min. Educației și Tineretului Univ. Teh. A Moldovei – Chiș. : UTM, 2006.–380 p., ISBN 978-9975-45-020-1.
3. Marek Potkany, Martina Hlatka, Marek Debnar și Jiri Hanzl, *Comparison of the Lifecycle Cost Structure of Electric and Diesel Buses*, [citat 28.08.2018], DOI 10.17818/NM/2018/4SI.20, UDK 656.12, 629.341.
4. Ryan Sclar, Camron Gorguinpour, Sebastian Castellanos, și Xiangyi Li, *Barriers to adopting electric buses*, 2019, World Resources Institute.
5. *Electric buses arrive on time*, Studiu efectuat de către Transport & Environment, noiembrie 2018
6. Mahmoud, M., Garnett, R., Ferguson, M., Kanaroglou, P., 2016. Electric buses: A review of alternative powertrains. *Renewable & Sustainable Energy Review* 62, 673-684, DOI: 10.1016/j.rser.2016.05.
7. Shah Mohammad Mominul, Arshad Adam și Joanne Mun-Yee, *Design and sizing of solar PV plant for an electric bus depot in Malaysia*, E3S Web of Conferences 160, 02003 (2020).
8. D. Rekioua și E. Matagne, *Optimization of Photovoltaic Power Systems, Modelization, Simulation and Control*, Primăvara, 2012
9. The MathWorks, Inc, „Recorded Webinar- Model-Based Design for Solar Power Systems” The MathWorks, Inc, 2009. [Interactiv]. Disponibil: [http://www.mathworks.com/webex/recordings/Solar\\_111809/index.html](http://www.mathworks.com/webex/recordings/Solar_111809/index.html).
10. The Mathworks, Inc, „Solar Cell (Matlab R2014a Documentation)” The Mathworks, Inc, 2014. [Interactiv]. Disponibil: <http://www.mathworks.com/help/physmod/elec/ref/solarcell.html>.
11. T. Markvart și L. Castañer, *Practical Handbook of Photovoltaics: Fundamentals and Applications*, Amsterdam: Elsevier Science, 2003.
12. R. Messenger și J. Ventre, *Photovoltaic systems engineering*, a 2-a ed., CRC Press, 2004, pp. 80-83.
13. A. Luque și S. Hegedus, *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*, a 2-a ed., Chichester: John Wiley și Sons, Ltd, 2011.
14. M. Gușă, „Chpt 4. Solar Energy I,” în Energy Sources, Iași, Universitatea Tehnică "Gheorghe Asachi" din Iași - Colectiv Tehnica Tensiunilor Inalte, 2012.
15. T. Orłowska-Kowalska, F. Blaabjerg și J. Rodríguez, *Advanced and Intelligent Control in Power Electronics and Drives*. Studies in Computational Intelligence, vol. 531, Springer, 2014.
16. P. Lynn, *Electricity from Sunlight: An Introduction to Photovoltaics*, John Wiley & Sons, 2010, p. 103.
17. N. Mohan, T. Undeland și W. Robbins, *Power Electronics Converters, Application and Design*, 2nd ed., John Wiley & Sons, Inc, 1995, pp. 161, 163, 172, 173, 200.

18. CIGRE TF38.01.10, Contributions by: Hatziaargyriou, N.; Donnelly, M.; Papathanassiou, S.; Lopes, J. A. Peças; Takasaki, M.; Chao, H., „*CIGRE Technical Brochure on Modeling New Forms of Generation and Storage*,” Conseil International des Grands Réseaux Électriques (CIGRE, International Council on Large Electric Systems), CRC Press, November 2000.
19. R. Teodorescu, P. Rodriguez, M. Liserre și J. M. Guerrero, *Industrial/ Ph.D. Course in Power Electronics for Renewable Energy Systems (PERES) – in theory and practice*, Aalborg University.
20. I. V. Banu și M. Istrate, „*Modeling of maximum power point tracking algorithm for photovoltaic systems*,” in Electrical and Power Engineering (EPE), 2012 International Conference and Exposition on, Iași, 2012.
21. W. J. A. Teulings, J. C. Marpinard și A. Capel, „*A maximum power point tracker for a regulated power bus*,” Power Electronics Specialists Conference, 1993. PESC '93 Record., 24th Annual IEEE, pp. 833-838, 1993.
22. M. A. Hamdy, „*A new model for the current-voltage output characteristics of photovoltaic modules*,” J. Power, pp. 11-20, 1993.
23. K. H. Hussein, I. Muta, T. Hoshino și M. Osakada, „*Maximum Photovoltaic Power Tracking: an Algorithm for Rapidly Changing Atmospheric Conditions*” IEE Proceedings Generation Transmission and Distribution, vol. 142, nr. 1, pp. 59-64, January 1995.
24. DEX, 1996, p. 342.
25. National Instruments, „*Maximum Power Point Tracking*,” National Instruments Corporation, 7 Iunie 2009. [Interactiv].Disponibil: <http://www.ni.com/white-paper/8106/en/>.
26. M. G. Villalva, F. J. R. Gazoli și E. Ruppert Filho, „*Analysis and simulation of the P&O MPPT algorithm using a linearized PV array model*,” în Industrial Electronics, 2009. IECON '09. 35th Annual Conference of IEEE, 2009.
27. D. Sera, T. Kerekes, R. Teodorescu și F. Blaabjerg, „*Improved MPPT algorithms for rapidly changing environmental conditions*,” in Power Electronics and Motion Control Conference, 2006.
28. D. P. Hohm și M. Ropp, „*Comparative Study of Maximum Power Point Tracking Algorithms Using an Experimental, Programmable, Maximum Power Point Tracking Test Bed*,” în Photovoltaic Specialists Conference, 2000. Conference Record of the Twenty-Eighth IEEE,, 2000.
29. C. Hua, J. Lin și C. Shen, „*Implementation of a DSP-controlled photovoltaic system with peak power tracking*,” IEEE Trans. Ind. Electron, vol. 45, pp. 99-107, Feb. 1998.
30. E. Koutroulis, K. Kalaitzakis și V. Tzitzilonis, „*Development of an FPGA-based system for real-time simulation of photovoltaic modules*,” Microelectronics Journal, vol. 40, nr. 7, pp. 1094-1102, July 2009.
31. M. Kumar, F. Ansari și A. K. Jha, „*Maximum power point tracking using perturbation and observation as well as incremental conductance algorithm*,” International Journal of Research in Engineering and Applied Sciences, vol. 1, nr. 5, pp. 19-31, December 2011.
32. Dna. Ana Huidobro și Dr. Eduardo Román (TECNALIA), Dr. Theocharis Tsoutsos, Dna. Stavroula Tournaki, Dl. Zacharias Gkouskos (ENV/TUC), Dna. Eleni Despotou, Dl. Gaëtan Masson, Dl. Pieterjan Vanbuggenhout și Dl. Manoël Rekinge (EPIA), Dr. John Holden și Dna. Kim Noonam (BRE), Dl. Goran Grani și Dl. Andro Bačan (EIHP), Dl. Christos Maxouli și Dna. Anthi Charalambous (ETEK), Dl. Antonis Pittaridakis și Dr.Charalambos Litos (TEE), Ing. Camelia Rață, Dra. Leea Catinescu și Dl. Radu Gaspar (ABMEE), Dra. Evelina Stoykova și Dra. Violetta Groseva (SEC), „*PVTRIN Curs de instruire, Manualul Instalatorilor pentru Sisteme Fotovoltaice Solare*”, Disponibil: <http://www.abmee.ro/wp-content/uploads/2017/02/PVTRIN-Manualul-Instalatorului.pdf>, Accesat 27.04.2021.