

**MINISTERUL EDUCAȚIEI, CULTURII ȘI CERCETĂRII
AL REPUBLICII MOLDOVA**

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

Admis la susținere

Șef departament:

HLUSOV Viorica, conf. univ., dr.

„_____” _____ 2020

**Studiu privind amplasarea dispozitivelor de măsurări
fazoriale sincronizate în rețelele electrice**

Teză de master

Student: _____ **OJOG Dumitru,**
gr. EE-19M

Conducător: _____ **STRATAN Ion**
prof. univ., dr.

Chișinău, 2020

ADNOTARE

Autor – OJOG Dumitru. **Titlu** – *Studiu privind amplasarea dispozitivelor de măsurări fazoriale sincronizate în rețelele electrice.*

Structura lucrării: lucrarea conține o introducere, patru capitole, concluzii, bibliografie din 4 titlu și 3 link-uri utilizate, 59 pagini, 15 figuri, 3 tabele.

Cuvinte-cheie: dispozitiv de măsurare fazorial, matricea admitanțelor nodale, rețe electrică, renumerotare, ecuații liniare, metoda tensiunilor nodale.

Scopul lucrării: elaborarea algoritmului de determinare a numărului minim, dar suficient de PMU pentru o rețea electrică.

Obiectivele generale: analiza metodelor de elaborare a matricelor admitanțelor nodale, determinarea metodei optime.

Rezultate obținute: în urma studiului s-a elaborat câteva criterii de determinare a numărului minim de dispozitive de măsurări fazoriale sincrone și locul optim de montare a acestora într-o rețea electrică.

ABSTRACT

Author - OJOG Dumitru. **Title** - *Study of the location of synchronized phase measurement devices in electrical networks.*

Thesis structure: the paper contains an introduction, four chapters, conclusions, bibliography of 9 titles and 3 links used, 59 pages, 39 figures, 6 tables.

Keywords: phasor measuring device, nodal admittances matrix, electrical networks, renumbering, linear equations, nodal stress method.

The scope of the work: the elaboration of the algorithm for determining the minimum number, but enough PMU for an electrical network.

General objectives: analysis of methods for developing nodal admittances matrices, determining the optimal method.

Results obtained: following the study, several criteria were developed to determine the minimum number of synchronous phasor measurement devices and the optimal place to mount them in an electrical network

CUPRINS

INTRODUCERE.....	Error! Bookmark not defined.
1. DISPOZITIVE DE MĂSURĂRI FAZORIALE SINCRONIZATE Error! Bookmark not defined.	
1.1. Caracteristicile dispozitivelor de masurare fazoriale	Error! Bookmark not defined.
1.1.1. Scurt istoric.....	Error! Bookmark not defined.
1.1.2. Prezentare generală a GPS	Error! Bookmark not defined.
1.2. Arhitectura sistemului.....	Error! Bookmark not defined.
1.2.1. Concentrator de date de fazori.....	Error! Bookmark not defined.
1.2.2. Sisteme de monitorizare și control pe arii largi (Wide Area Measurement Systems)	Error! Bookmark not defined.
1.3. Nivelul de dezvoltare a PMU în lume.....	Error! Bookmark not defined.
1.3.1. Dezvoltarea măsurărilor sincronizate fazoriale în Republica Moldova	Error! Bookmark not defined.
1.3.2. America de Nord	Error! Bookmark not defined.
1.3.3. Mexic.....	Error! Bookmark not defined.
1.3.4. Brazilia	Error! Bookmark not defined.
1.3.5. Europa	Error! Bookmark not defined.
1.3.6. China	Error! Bookmark not defined.
1.3.7. India.....	Error! Bookmark not defined.
1.3.8. Rusia.....	Error! Bookmark not defined.
2. APLASAREA DISPOZITIVELOR DE MĂSURĂRI FAZORIALE SINCRONIZATE ÎN NODURILE REȚELELOR ELECTRICE	Error! Bookmark not defined.
2.1. Metoda mărimilor determinante	Error! Bookmark not defined.
2.1.1. Algoritmul metodei mărimilor determinante.....	Error! Bookmark not defined.
2.1.2. Formarea matricei admitanțelor nodale.....	Error! Bookmark not defined.
2.2. Reordonarea nodurilor.....	Error! Bookmark not defined.
2.2.1. Numerotarea inițială	Error! Bookmark not defined.
2.2.2. Numerotarea cvasi-bandă.....	Error! Bookmark not defined.
2.3. Trecerea de la matricea cuasi-bandă la matricea triunghiulară inferioară	Error! Bookmark not defined.
3. CALCULUL RAPID AL REGIMULUI PERMANENT DE FUNCȚIONARE AL REȚELELOR ELECTRICE PRIN UTILIZAREA SIMULTANĂ A MĂSURĂRILOR FAZORIALE SINCRONIZATE ȘI A TELEMĂSURĂRILOR SISTEMULUI SCADA	Error! Bookmark not defined.
3.1. Calculul regimului permanent de funcționare a rețelelor electrice	Error! Bookmark not defined.
3.1.1. Etapele calcului de regim permanent	Error! Bookmark not defined.

3.1.2.	Metoda Newton-Raphson.....	Error! Bookmark not defined.
3.2.	Alcătuirea sistemului de ecuații nodale ce descrie regimul de funcționare a rețelelor electrice	Error! Bookmark not defined.
4.	CALCULUL RAPID AL REGIMULUI PERMANENT DE FUNCȚIONARE AL REȚELEI	Error! Bookmark not defined.
4.1.	Algoritmul nr.1.....	Error! Bookmark not defined.
4.2.	Algoritmul nr.2.....	Error! Bookmark not defined.
	CONCLUZIE	Error! Bookmark not defined.
	BIBLIOGRAFIE	Error! Bookmark not defined.

INTRODUCERE

Tendențele mondiale privind dezvoltarea gestionării regimului de funcționare al SEE în mult sunt legate de implementarea pe scară largă a măsurărilor fazoriale sincronizate pe baza utilizării dispozitivelor PMU în sistemele distribuite de măsurare.

Existența până la prezent a prețurilor ridicate la dispozitivele de măsurări fazoriale sincronizate a condiționat necesitatea soluționării problemei privind amplasarea optimă a acestor dispozitive în rețelele electrice cu asigurarea observabilității acestora.

În lucrare s-a elaborat un algoritm de amplasare optimă a dispozitivelor de măsurări fazoriale sincronizate. Pentru amplasarea acestora se utilizează metoda mărimilor determinate (metoda tensiunilor nodale determinate). Identificarea tensiunilor nodale determinate se realizează prin partiționarea matricei admitanțelor nodale în patru submatrice, în care intervine submatricea $[Y_{22}]$ de structură specială: cvasi bandă sau triunghiulară inferior. Prin transformări suplimentare submatricea $[Y_{22}]$, de formă cvasi bandă se poate aduce la forma triunghiulară inferior de rang egal sau mai mare față de rangul submatricelor obținute prin utilizarea metodelor cunoscute.

În partea finală a lucrării este dezvoltat un algoritm rapid de calcul a RE prin utilizarea simultană a măsurărilor fazoriale sincronizate și a telemăsurărilor obținute de la sistemul SCADA.

În Capitolul 1 Dispozitive de măsurări fazoriale sincronizate, este prezentat un scurt istoric și se face o introducere în tehnologia măsurărilor fazoriale sincronizate, care stă la baza principiului de funcționare a DMF. Totodată, în acest capitol, sunt prezentate principalele avantaje pe care sistemele pentru monitorizarea și controlul sistemelor electroenergetice vaste bazate pe tehnologia măsurărilor fazoriale le introduc față de sistemele SCADA clasice, principalele arhitecturi de rețele utilizate, precum și aplicații ale dispozitivelor pentru măsurări fazoriale în monitorizarea stării rețelelor electrice.

În Capitolul 2 Amplasarea dispozitivelor de măsurări fazoriale sincronizate în nodurile rețelelor electrice se analizează câteva algoritme pentru determinarea numărului minim necesar de dispozitive de măsurări fazoriale amplasate într-o rețea electrică, care vor permite să aflăm parametrii rețelei electrice (în cazul dat modulul și fazorul tensiunii)

În Capitolul 3 Calculul rapid al regimului permanent de funcționare al rețelelor electrice prin utilizarea simultană a măsurărilor fazoriale sincronizate și a telemăsurărilor de la sistemul SCADA se alcătuiesc ecuațiile ce permit soluționarea sistemului.

În Capitolul 4 Calculul rapid al regimului permanent de funcționare al rețelei electrice. În acest capitol utilizând ecuațiile din capitolul anterior se determină parametrii regimului și se compară cu cele obținute prin programe industrial de calcul.

BIBLIOGRAFIE

1. Ecaterina Murdid, Ion Stratan. Universitatea Tehnică a Moldovei „ESTIMAREA PARAMETRIILOR REȚELOR ELECTRICE UTILIZÂND MĂSURĂRI FAZORIALE SINCRONIZATE”
2. ing. Bogdan Vicol IAȘI – 2014”CONTRIBUȚII PRIVIND UTILIZAREA MĂSURĂRILOR SINCRONIZATE ÎN MONITORIZAREA STĂRII REȚELOR ELECTRICE”
3. V. Terzija, G. Valverde, D. Cai, P. Regulski, V. Madani, J. Fitch, S. Skok, M. M. Begovic, and A. Phadke, "Wide-Area Monitoring, Protection, and Control of Future Electric Power Networks," *Proceedings of the IEEE*, vol. 99, pp. 80-93, 2011.
4. T. Xia, "Frequency monitoring network (FNET) algorithm improvements and application development," Doctor of Philosophy, Electrical Engineering, Virginia Polytechnic Institute and State University, 2009.
5. http://energy.komisc.ru/dev/test_cases
6. <http://digitalsubstation.com/blog/2014/03/05/obzor-standarta-ieee-c37-118-i-ego-trebovanijj-k-sistemam-sinkhronizirovannykh-vektornykh-izmerenijj/>
7. I. Kamwa, R. Grondin, and Y. Hebert, "Wide-area measurement based stabilizing control of large power systems-a decentralized/hierarchical approach," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 16, pp. 136-153, Feb. 2001.
8. L. Guoping, J. Quintero, and V. M. Venkatasubramanian, "Oscillation monitoring system based on wide area synchrophasors in power systems," in *2007 iREP Symposium - Bulk Power System Dynamics and Control - VII. Revitalizing Operational Reliability*, 2007, pp. 1-13.
9. Brian K. Johnson University of Idaho „Validation of Transmission Line Relay Parameters Using Synchrophasors”
10. A. B. Leirbukt, J. O. Gjerde, P. Korba, K. Uhlen, L. K. Vormedal, and L. Warland, "Wide Area Monitoring Experiences in Norway," in *2006 IEEE PES Power Systems Conference and Exposition*, 2006, pp. 353-360.
11. P. Korba and K. Uhlen, "Wide-area monitoring of electromechanical oscillations in the nordic power system: practical experience," *IET Generation, Transmission & Distribution*, vol. 4, pp. 1116-1126, Oct. 2010.
12. https://ro.wikipedia.org/wiki/Global_Positioning_System
13. Богатырев О.М. Элементарная методика расчета линейных электрических цепей. – «Электричество», № 4, 1953.
14. Максимович Н.Г. Линейные электрические цепи и их преобразования. «Госэнергоиздат», 1961. 263 с.

15. Грицай М.А., Журавлев В.Г. Расчет потокораспределения в электрической сети по методу определяющих величин. «Электричество», № 8,1968, с.17-22.
16. Чмутов А.П. Применение кодиагональной записи матрицы коэффициентов при расчетах электрических сетей на ЭЦВМ. «Электричество», № 9,1968, с.78-80.
17. Жуков Л.А., Стратан И.П. Установившиеся режимы сложных электрических сетей и систем. – М. «Энергия»,1979. 415 с.
18. Гамм А.З. О нумерации узлов при расчетах установившихся режимов электрических систем методом Ньютона-Рафсона. «Электричество», № 2,1970, с.589-61.
19. Бондоренко В.М. Применение метода определяющих величин к расчету цепей с многополюсными элементами. В сб. «Математическое моделирование и электрические цепи» Вып. 2. АНУССР, 1964.
20. Брон Л.П. Формирование на ЭЦВМ блочной матрицы для расчета электрических цепей методом определяющих величин. – Изв. СО АН СССР. Серия технических наук. 1970 №3, вып. 1, с.64-70.
21. Хусаинов Ш.П. О методах определяющих контурных токов и определяющих узловых напряжений. Изв. ВУЗов СССР. Энергетика. 1969, №4 с.8-12.
22. Ene Marian. Metoda mărimilor determinate. Modelul rețelelor electrice. –București. Editura Academiei R.S.R., 1971. p.228.
23. Чалый Г.В., Журавлев В.Г. и др. Методы решения оптимизационных энергетических задач на ЭВМ. Изд. «Картя молдовеняска». Кишинев, 1968. 175 с.
24. Бартоломей П.И., Плетнева Л.В. Оптимизация расстановки РМН для укоренных расчетов режимов ЭЭС. Научные труды международной научно-технической конференции «Энергетика глазами молодежи - 2013», Новочеркасск, Т.2 Октябрь. С.207-212.
25. Бартоломей П.И., Котова Е.Н., Плетнева Л.В., Ширяев А.С. Ускоренные расчеты режимов электрической системы с использованием измерительных средств WAMS. Электроэнергетика глазами молодежи». Научные труды международной научно-технической конференции Сборник статей в 2 т. Екатеринбург УрФУ.2012 №2. С.24-28.
26. Бартоломей П.И., Семененко С.И. Минимизация количества векторных измерений для ускоренных расчетов ЭЭС. Научные труды международной научно-технической конференции «Энергетика глазами молодежи - 2015» Иваново, Т.1 – Ноябрь 2015. 259-264.