

**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.

„_____” _____ 2019

**Evaluarea parametrilor elementelor rețelelor electrice
utilizând măsurări fazoriale**

Teză de master

Student: _____ **ȘEREMET Cristian,**
gr. EE-18M

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

Chișinău, 2019

ADNOTARE

la teza de master

cu tema „Evaluarea parametrilor elementelor rețelelor electrice utilizând măsurări fazoriale”
al masterandului Șeremet Cristian.

Structura tezei. Teza de master cuprinde: introducere, trei capitole, concluzii, referințe, bibliografie și anexe. Volumul lucrării este de (80) pagini text de bază, (18) figuri și (27) tabele.

Scopul lucrării. Estimarea parametrilor pasivi ai elementelor rețelei electrice, utilizând valorile parametrilor activi de la dispozitivele de măsurare fazoriale sincronizate amplasate în diferite noduri ale rețelei electrice.

Apariția sistemului GPS (Global Positioning System) și deschiderea lui spre aplicațiile comerciale, crearea standardelor internaționale IEEE 1344, IEEE C37.118, IRIG-B și aplicarea dispozitivelor de măsurare fazorială, au condus în ultimii ani la realizarea și extinderea foarte rapidă a aplicațiilor ce folosesc măsurările fazoriale sincronizate în sistemele electroenergetice de mari dimensiuni (naționale, regionale și continentale). Această tehnologie permite urmărirea evoluției fazorilor de tensiune și de curent în anumite noduri ale sistemului electroenergetic astfel se oferă posibilitatea de a monitoriza în orice moment de timp a dinamicii SEE, și pe baza acestor date de a prezice ce evenimente se întâmplă sau se pot întâmpla peste o perioadă de timp oarecare.

Însă pentru a analiza starea rețelelor electrice nu este suficient doar cunoașterea parametrilor activi mai este nevoie de a cunoaște și parametrii pasivi (rezistența, reactanța, conductanța și susceptanța) ale acestora. În lucrare s-au analizat, în mod detaliat, diferite modele matematice obținute în baza relațiilor ale cuadripolului și în baza ecuațiilor bilanțului de putere și de curent, astfel obținând o caracteristică detaliată a rețelei electrice analizate.

Cuvintele cheie: măsurări fazoriale, parametrii pasivi, schema echivalentă, cuadripol, rețea electrică.

ANNOTATION

of master degree thesis

topic „Electrical network elements parameters assesment using phasor measurements”

author of master's thesis: Seremet Cristian

thesis structure: introduction, three chapters, conclusions, references, bibliography and annexes. The volume of basic text is (80) pages, 18 figures and 27 tables.

Objectives: Passive parameters estimation of the electrical network components, obtaining the active parameter values from synchronized phasor measurement devices located in different nodes of the power grid.

The invention of the GPS (Global positioning System) and it's commercial applications spread, the creation of international standards IEEE 1344, IEEE C37.118, IRIG-B and the application of phasor measurement units, in the last few years have led to a very rapid development and expansion of applications using synchronized phasor measurements in large power systems (national, regional and continental). This technology allows to track the evolution of voltage and current phasors in certain nodes of the power system, therefore giving the opportunity to monitor at any time the parameters dynamics. Based on this data it is possible to predict what events are happening or might happen over a period of time.

However, active parameters are not enough to analyze the electrical network state, passive parameters (resistance, reactance, conductance and susceptance) are also needed. For this purpose, different mathematical models based on quadripole relations and equations of power and current balance have been analyzed, thus obtaining a detailed feature of the power grid.

Keywords: phasor measurement, passive parameters, equivalent scheme, quadripole, electrical network.

CUPRINS

INTRODUCERE	7
1. MĂSURĂRI VECTORIALE SINCRONIZATE	9
1.1. Sistemul de măsurare pe arie largă WAMS	9
1.2. Resurse de date ale WAMS	12
1.2.1. Control de supraveghere și achiziție de date (SCADA)	12
1.2.2. Descrierea sistemului hardware al SCADA.....	13
1.3. Sistemul sincronizat de măsurare fazorială (SPMS)	14
1.3.1. Sistemul de Poziționare Globală și protocoalele de sincronizare	15
1.3.2. Standardul IEEE C37.118.....	18
1.3.3. Definierea sincrofazorilor.....	20
1.3.4. Arhitectura sistemelor cu PMU	24
1.3.5. Ierarhia pentru PMUs.....	25
1.4. Transformatoarele de măsură	27
1.4.1. Transformatoarele de curent	27
1.4.2. Transformatoarele de tensiune	28
2. IDENTIFICAREA PARAMETRILOR ELEMENTELOR REȚELEI ELECTRICE	31
2.1. Identificarea parametrilor elementelor liniei electrice	31
2.1.1. Parametri și schema echivalentă a LE	31
2.1.2. Identificarea parametrilor elementelor LE în baza schemei echivalente de tip „Π”	34
2.1.3. Identificarea parametrilor elementelor LE în baza ecuațiilor bilanțului de putere și de curent.....	39
2.1.4. Identificarea parametrilor elementelor liniei electrice reprezentată printr-un cuadripol	41
2.2. Identificarea parametrilor pasivi ale transformatoarelor de putere	46
2.2.1. Parametrii și schemele echivalente ale transformatoarelor.....	46
2.2.2. Identificarea parametrilor elementelor transformatorului de putere cu două înfășurări reprezentat printr-un cuadripol	49
2.2.3. Identificarea parametrilor elementelor transformatorului de putere cu două înfășurări în baza ecuațiilor bilanțului de putere și de curent	53
3. STUDIU DE CAZ PRIVIND IDENTIFICAREA PARAMETRILOR ELEMENTELOR RE	60
3.1. Studiu de caz privind identificarea parametrilor elementelor liniei electrice	60
3.1.1. Exemplu de calcul conform relațiilor bilanțului de putere	60
3.1.2. Exemplu de calcul conform ecuațiilor bilanțului de curent	64
3.1.3. Exemplu de calcul în baza relațiilor pentru cuadripol	67
3.2. Studiu de caz privind identificarea parametrilor pasivi ale transformatoarelor de putere cu două înfășurări 70	
3.2.1. Exemplu de calcul pentru identificarea parametrilor elementelor transformatorului de putere cu două înfășurări reprezentat printr-un cuadripol	70
3.2.2. Exemplu de calcul pentru identificarea parametrilor elementelor transformatorului de putere cu două înfășurări în baza ecuațiilor bilanțului de putere și de curent	75
CONCLUZII	82
BIBLIOGRAFIE	83
ANEXE	85
Anexa 1. Rezultatele calculelor efectuate pentru LEA cu $U_{nom}=110$ kV	85
Anexa 2. Rezultatele calculelor efectuate pentru LEA cu $U_{nom}=35$ kV	89
Anexa 3. Rezultatele calculelor efectuate pentru LEA cu $U_{nom}=10$ kV	93

Anexa 4. Rezultatele calcuilor efectuate pentru transformatorul cu 2 înfășurări ТД-16000/110-Y1	97
Anexa 5. Rezultatele calcuilor efectuate pentru transformatorul cu 2 înfășurări ТМН-4000/35	103
Anexa 6. Rezultatele calcuilor efectuate pentru transformatorul cu 2 înfășurări ТМН-400/10	109

CUPRINS

INTRODUCERE	9
1. INFORMAȚII DESPRE SISTEMUL DE ILUMINAT EXISTENT	13
1.1. Datele generale despre Agentie Serviciilor Publice.....	13
1.2. Datele generale despre oficiile Cadastrale teritoriale raionale.....	16
1.3. Datele despre oficiul Cadastral territorial din orașul Comrat.....	21
1.4. Tipurile corpurilor și lămpilor utilizate in prezent.....	22
2. CALCUL FOTOMETRIC ÎN PROGRAMUL DiaLux	25
2.1. Datele generale despre programul DiaLux.....	25
2.2. Modelarea situatiei existent.....	26
2.3. Solutii de modernizarea.....	38
2.4. Modelarea situatiei de perspectiva.....	40
3. APRECIEREA IMPACTULUI TEHNICO-ECONOMIC	46
3.1. Calculul indicatorilor tehnico-economici pentru situatia existent.....	46
3.2. Calculul indicatorilor tehnico-economici pentru situatia de perspectiva.....	47
3.3. Calculul tehnico-economic.....	48
CONCLUZII	50
BIBLOGRAFIE	51

INTRODUCERE

Sistemul electroenergetic (SEE) reprezintă totalitatea instalațiilor electroenergetice ce constituie surse de energie electrică, rețele electrice de transport și distribuție, precum și consumatori de energie electrică. Pentru dimensionarea, proiectarea și analiza SEE se recurge la schema echivalentă în care se înlocuiesc parametri fizici ai elementelor instalațiilor electroenergetice (linii electrice, transformatoare, etc.) cu valori matematice. Este cunoscut faptul că parametrii acestor elemente depind de mai mulți factori și pot fi supuse modificărilor în timpul exploatarei comparativ cu parametrii din catalog sau de la etapa de proiectare.

La determinarea parametrilor elementelor schemei echivalente se generează erori provocate de determinare a datelor din pașapoartele tehnice și a datelor experimentale, pe lângă acestea mai apar și erori suplimentare provocate la construirea sau modernizarea instalațiilor și ne luarea în considerație a proprietăților fizice ale echipamentelor, cum ar fi modul de distribuire a parametrilor electrici, efectul pelicular ale conductoarelor, eterogenitatea pământului, modificarea înălțimii a conductoarelor suspendate la determinarea capacității liniei electrice (LE), etc.

La determinarea rezistenței active a LE din cauza că nu se ea în considerare efectul pelicular se generează erori sistematice. Ne considerarea influenței condițiilor meteorologice (temperatura aerului, viteza vântului, intensitatea căderilor de precipitații) la fel conduc la erori suplimentare.

La determinarea reactanței a LE pot apărea erori provocate la determinarea distanței medii geometrice dintre conductoare, dacă nu se ea în considerare numărul cablurilor de împământare și a LE paralele la fel pot duce la erori sistematice.

La introducerea datelor cu privire la susceptanța pentru schema echivalentă de tip „II” se produc erori din cauza că nu se iau în considerație modificarea săgeții și a razei conductorului, prezența cablului de împământare și a circuitelor paralele, conductivitatea solului.

Conform celor menționate comportarea dinamică a sistemului provoacă probleme dificile ce sunt foarte greu de le modelat. Pentru aceasta este nevoie de sisteme moderne de măsurare ce se bazează pe tehnologii avansate cum ar fi cea de măsurare fazorială sincronizată, care are la bază urmărirea evoluției a fazorilor de tensiune și de curent în anumite noduri din sistem. Astfel, apare posibilitatea de a colecta informații (date) cu o descriere amănunțită despre parametrii mășurați, acest lucru permite analiza sistemului cu ajutorul schemelor echivalente, ca într-un final să fie elaborate concluzii despre starea reală a sistemului. Acest lucru ar permite aplicarea unor măsuri de control și de prevenire a avariilor în timp real ce ar asigura o exploatare optimă.

Teza de master se intitulează „Evaluarea parametrilor elementelor rețelelor electrice utilizând măsurări fazoriale” și reflectează unele metode de identificare ai parametrilor pasivi a rețelei electrice, ce sunt posibile datorită tehnologiei măsurării fazoriale sincronizate.

În Capitolul 1 *Măsurări vectoriale sincronizate*, se vorbește despre următoarele noțiuni:

- Sistemul de măsurare pe arie largă WAMS;
- Control de supraveghere și achiziție de date (SCADA);
- Sistemul sincronizat de măsurare fazorială (SPMS);
- Sistemul de Poziționare Globală și protocoalele de sincronizare;
- Standardul IEEE C37.118;
- Definirea sincrofazorilor;
- Arhitectura sistemelor cu PMU;
- Ierarhia pentru PMUs;

În Capitolul 2 *Identificarea parametrilor elementelor rețelei electrice*, se descriu modele matematice pentru identificarea parametrilor pasivi ale liniei electrice și ale transformatoarelor de putere prin aplicarea relațiilor de calcul pentru cuadripol și aplicarea ecuațiilor bilanțului de putere și de curent.

În Capitolul 3 *Studiu de caz privind identificarea parametrilor pasivi ale rețelelor electrice*, se efectuează calcule pentru fiecare caz descris în capitolul 2, analizându-se trei linii electrice și trei transformatoare de putere alimentate la diferite trepte de tensiune.

Sunt prezentate concluzii generale desprinse din analiza rezultatelor obținute în lucrare.