

REZUMATUL TEZEI

Universitatea POLITEHNICA Timișoara
Facultatea de Electrotehnica și Energetică
Departamentul Bazele Fizice ale Ingineriei

Rezumatul Tezei

OPTIMIZAREA REGIMULUI DE FUNCTIONARE A
RETELELOR DE MEDIE TENSIUNE AVIND NEUTRUL
TRATAT CU BOBINA DE COMPENSARE

Conducător științific:

Prof.dr.doc.ing. Constantin ȘORA

Doctorand:

Ion Petru RUȘET

Timișoara, 2012

REZUMATUL TEZEI

Cuprins

1. INTRODUCERE	4
2. CONSIDERAȚII PRIVIND TRATAREA NEUTRULUI ÎN REȚELE ELECTRICE DE MEDIE TENSIUNI	7
3. ANALIZA SIMPLELOR PUNERI LA PAMANT	63
4. CALCULUL CURENȚILOR DE DEFECT ÎN CAZUL UNEI DUBLE PUNERI LA PĂMÂNT ÎNTR-O REȚEA DE MEDIE TENSIUNE	112
5. DETERMINĂRI EXPERIMENTALE ÎN REȚEAUA REALĂ DE MEDIE TENSIUNE	141
6. SISTEM DE REGLAJ AUTOMAT AL BOBINEI DE STINGERE DIN REȚELELE DE MEDIE TENSIUNE	166
7. CONCLUZII GENERALE SI CONTRIBUTII PERSONALE	178
ANEXE 1-4	

REZUMATUL TEZEI

Teza de doctorat elaborată se încadrează în domeniul mai larg al creșterii performanțelor și siguranței în exploatare a rețelelor electrice de medie tensiune având în vedere asigurarea continuității în alimentarea consumatorilor de energie electrică. În ultimii ani s-a acordat o atenție sporită asigurării de către furnizorii de energie electrică a unui serviciu de calitate intervenindu-se inclusiv în reglementările legislative din acest domeniu. Devine evident că eforturile îndreptate în direcția modernizării, creșterii performanțelor echipamentelor de protecție și automatizare sunt de reală actualitate și importanță atât pentru furnizori cât și pentru consumatorii de energie electrică. Preocupările furnizorilor de energie electrică sunt: reducerea duratei și a numărului întreruperilor; restabilirea rapidă a alimentării consumatorilor; reducerea pierderilor de energie; modernizarea rețelelor electrice cu costuri cât mai reduse; comanda la distanță a echipamentelor de comutație; realizarea de protecții și automatizări cât mai sensibile și mai selective. Rețelele de medie tensiune cu neutrul tratat prin bobină de compensare alimentează de regulă consumatori la care întreruperea alimentării cu energie electrică trebuie evitată.

Motivația temei din teză rezultă și din faptul că regimurile de funcționare a rețelelor electrice de medie tensiune având neutrul tratat prin bobină de stingere influențează tensiunile de fază și în regim normal de funcționare, dar și în timpul defectelor, în mod deosebit al defectelor de tipul simplă punere la pământ. Valorile tensiunilor pe fazele fără defect în timpul unei simple puneri la pământ depind de condițiile de la locul de defect (valoarea rezistenței de trecere la locul de defect R_t), de curentul capacitiv total al rețelei de medie tensiune, de starea izolației și de regimul în care funcționează rețeaua. În cazul rețelelor de medie tensiune dezechilibrate cu neutrul tratat prin bobină de stingere în regim de rezonanță sau apropiat de acesta (supracompensat sau subcompensat până la 10%) sistemul trifazat al tensiunilor de fază este cel mai îndepărtat de cel simetric. Din acest motiv este de dorit ca regimul de funcționare al rețelei să fie cât mai îndepărtat de cel de rezonanță. Din punct de vedere al eficienței bobinei de stingere în eliminarea defectelor de tipul simplă punere la pământ fără a fi necesară deconectarea liniei cu defect rețeaua trebuie să funcționeze în regim de rezonanță. Cele două situații sunt contradictorii deci se impune conceperea unei instalații care să permită reglajul automat al reactanței bobinei de stingere și într-un timp foarte scurt. Având în vedere extinderea utilizării protecțiilor numerice la aceste rețele este de dorit ca și echipamentul de reglaj al bobinei de stingere să fie numeric pentru a putea prelua informațiile necesare de la protecții, de asemenea are în vedere și particularitățile rețelelor electrice de medie tensiune din România (izolație, lăgime linii, ș.a.)

În analiza modului în care parametri rețelei precum și regimurile de funcționare ale acesteia influențează posibilitatea sesizării selective a defectelor s-au utilizat modele matematice analitice prezentate în literatura de specialitate. Aceste modele au fost verificate prin măsurători efectuate în rețeaua reală de medie tensiune. În acest sens s-au conceput și realizat două sectoare experimentale, unul într-o rețeaua de 6kV din stația 220/110/6kV Peștiș și în rețeaua de 20 kV din stația de transformare 110/20kV Călan Strei.

REZUMATUL TEZEI

În **primă parte** a tezei de doctorat se analizează diferite aspecte teoretice și de calcul în legătură cu tematica lucrării. Astfel, se prezintă principalele caracteristici ale modurilor de tratare a neutrului rețelelor de medie tensiune insistându-se pe rețelele cu neutrul tratat prin bobină de stingere din punct de vedere al avantajelor și dezavantajelor pe care le prezintă.

Capitolul doi este dedicat prezentării metodelor utilizate pentru tratarea neutrului în rețele electrice pe plan mondial și se analizează diferite aspecte teoretice și de calcul în legătură cu tematica lucrării. Astfel, se prezintă principalele caracteristici ale modurilor de tratare a neutrului rețelelor de medie tensiune insistându-se pe rețelele cu neutrul tratat prin bobină de stingere insistându-se pe faptul că acest tip de rețele compensare permit eliminarea defectelor de tipul simplă punere la pământ fără a fi necesară deconectarea liniei cu defect. În literatură, dar și din statisticile proprii realizate rezultă că peste 80% din simplele puneri la pământ se elimină fără a necesita deconectarea liniei cu defect. Principalul risc la acest tip de rețele constă în faptul că o simplă punere la pământ neeliminată într-un timp foarte scurt (0,5s – 1s) se poate transforma într-un defect multiplu cu consecințe foarte grave. Această evoluție este favorizată și de posibilitatea apariției supratensiunilor în timpul defectului, deoarece intervine arcul electric care este un element neliniar de circuit electric.

Gradul de dezechilibru al unei rețele electrice de medie tensiune se caracterizează prin mărimea numită grad de nesimetrie al rețelei și este definit cu expresia:

$$\underline{u} = \frac{C_{oa} + \underline{a}^2 \cdot C_{ob} + \underline{a} \cdot C_{oc}}{C_{oa} + C_{ob} + C_{oc}}$$

unde C_{0a} , C_{0b} , C_{0c} reprezintă capacitățile față de pământ a rețelei de medie tensiune,

$\underline{a} = e^{j\frac{2\cdot\pi}{3}}$ este operatorul de rotație.

Neutrul rețelelor de medie tensiune poate fi: izolat, tratat cu bobină de stingere, tratat cu rezistor. Există și soluții de tratare mixte, adică neutrul tratat cu bobină de stingere și dacă defectul nu este eliminat de bobină în paralel cu aceasta se conectează un rezistor. Această metodă are avantajul că reunește avantajele soluției de tratare cu bobină de stingere cu cele ale soluției de tratare prin rezistor. De asemenea, există metoda mixtă de tratare a neutrului cu rezistor cuplata cu utilizarea întreruptorului șunt, metodă care reunește avantajele tratării cu rezistor cu cele ale tratării cu bobină de stingere. O schemă sintetică privind regimul neutrului rețelelor electrice este prezentată în fig.1. Alegerea unei **soluții de tratare a neutrului** de medie tensiune se face pentru o perioadă lungă de timp, implicând un volum mare de investiții și necesitatea fundamentării cu foarte mare atenție a deciziei luate. Soluția care se adoptă în momentul când se pune problema

REZUMATUL TEZEI

tratării neutrului unei rețele electrice trebuie să corespundă cel mai bine cerințelor și scopului pentru care este construită rețeaua

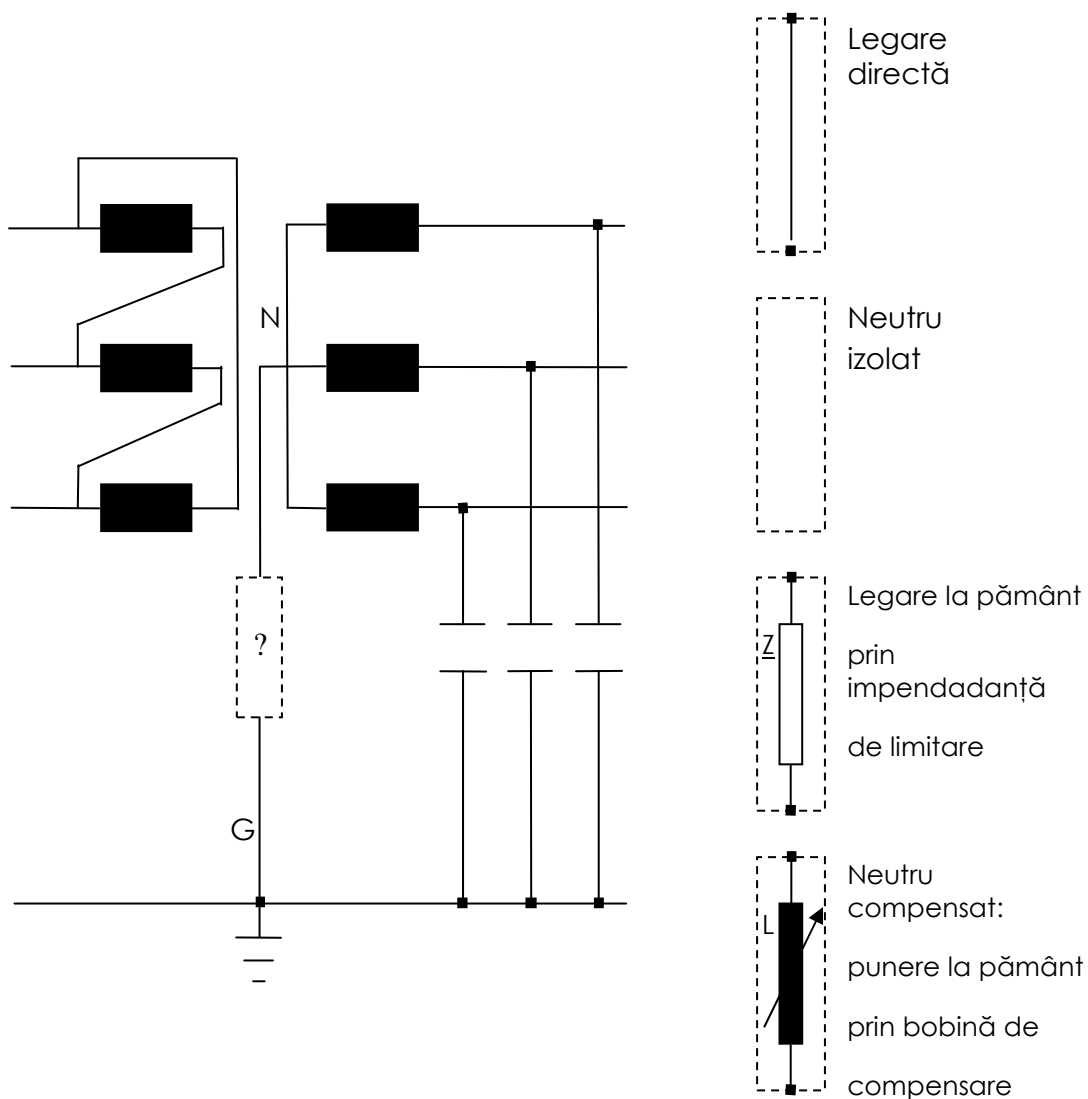


Fig.1 Metode diferite de tratare a neutrului

Un alt element care contribuie în mod esențial la alegerea soluției de tratare a neutrului, îl constituie duratele de eliminare a defectului și de separare a elementului defect. Aceste durate depind de soluția aleasă de tratare a neutrului rețelei și de protecțiile și automatizările utilizate, putând fi de ordinul zecilor de minute și chiar orelor în cazul rețelelor cu neutru izolat sau tratat prin bobină de

REZUMATUL TEZEI

compensare sau de ordinul fracțiunilor de secundă sau cel mult de ordinul secundelor în cazul rețelelor cu neutru tratat prin impedanțe de valori relativ mici.

Companiile de electricitate, în prezent, analizează soluțiile posibile a fi utilizate pentru tratarea neutrilor rețelelor electrice având în vedere și protecții prin relele și automatizări asociate care să permită atât eliminarea defectelor trecătoare, fără întreruperea în alimentare a consumatorilor, cât și detectarea și deconectarea rapidă și selectivă a elementelor de rețea cu defecte.

În **capitolul al treilea** se analizează simplele puneri la pământ luându-se în considerare cazul în care neutrul rețelei de medie tensiune este tratat cu bobină de stingere. Ca metodă de studiu s-a ales cea a componentelor simetrice, deci s-a acceptat că tensiunile și curenții au variație sinusoidală în timp, condiții simplificatorii care se regăsesc în literatura de specialitate. Schema monofilară a rețelei analizate este prezentată în fig.2

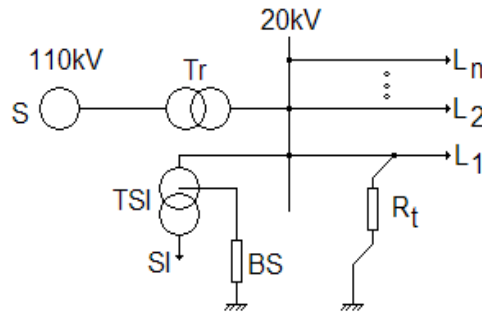


Fig. 2 Schema monofilară a rețelei cu punerea la pământ

S-au definit următorii coeficienți dependenți de valoarea rezistenței de trecere la locul de defect:

- coeficientul de reducere al tensiunii homopolare:

$$K_{U^0}^{(R_t)} = \frac{U^0(R_t)}{U^0(R_t = 0)} \quad (3.20.)$$

- coeficientul de reducere al curentului de defect:

$$K_{I_+}^{(R_t)} = \frac{I_+(R_t)}{I_+(R_t = 0)} \quad (3.21.)$$

- coeficientul de reducere al curenților capacitivi ai liniilor fără defect:

$$K_{I_c}^{(R_t)} = \frac{I_c(R_t)}{I_c(R_t = 0)} \quad (3.22.)$$

REZUMATUL TEZEI

- coeficientul de reducere al curentului prin bobina de compensare:

$$K_{I_{BS}}^{(R_t)} = \frac{I_{BS}(R_t)}{I_{BS}(R_t = 0)} \quad (3.23.)$$

În cazul în care se acceptă parametrii transversali ai rețelei ca fiind concentrați pe barele de medie tensiune ale stației de transformare și se consideră defectul la începutul liniei ($\underline{Z}_L^+ = \underline{Z}_L^- = \underline{Z}_L^0 = 0$), pentru aceeași coeficienți se obține expresia:

$$K_{U^0}(R_t) = \frac{1}{1 + \frac{3R_t}{\underline{Z}^+ + \underline{Z}^- + \frac{(\underline{Z}_{TSI}^0 + \underline{Z}_{BS}^0) \cdot \underline{Z}_C^0}{\underline{Z}_{TSI}^0 + \underline{Z}_{BS}^0 + \underline{Z}_C^0}}} \quad (3.24.)$$

S-a analizat dependența acestui coeficient funcție de valoarea rezistenței la locul de defect considerându-se ca parametru regimul în care funcționează rețeaua de medie tensiune. Pentru curentul capacitiv total al rețelei de medie tensiune s-au considerat valorile: 23A, 46A, 60A, 100A, 120A, 150A. Regimurile de funcționare a

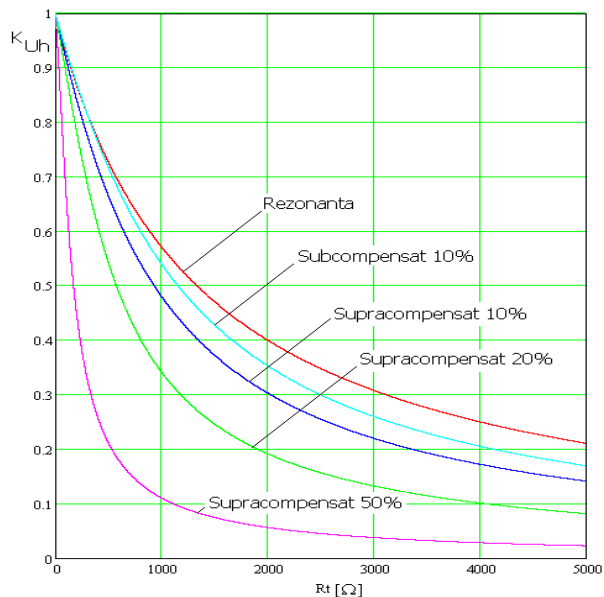


Fig.3 Dependența coeficientului K_{U^0} funcție de rezistența de trecere la locul de defect

rețelei de medie tensiune s-au considerat a fi: rezonanță, supracompensat 10%, 20%, 50%, subcompensat 10%. Rezultatul obținut în cazul în care curentul capacitiv total al rețelei de medie tensiune este 100A este prezentat în fig. 3.

S-a analizat dependența argumentului, respectiv a valorii impedanței de secvență zero văzută de la locul de defect funcție de valoarea reactanței bobinei de stingere pentru aceleași valori ale curentului capacitiv total considerându-se ca parametru starea izolației rețelei (foarte bună - argumentul impedanței capacitive 89°,

bună - argumentul impedanței capacitive 85°, îmbătrânită - argumentul impedanței capacitive 80°). Rezultatele obținute pentru rețeaua având curentul capacitiv total 100A sunt prezentate în fig.4 și 5.

REZUMATUL TEZEI

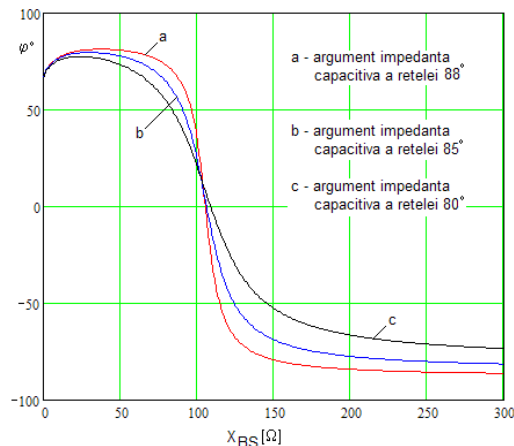


Fig.4 Dependenta argumentului impedantei de secventa zero functie de reactanta bobinei de stingere

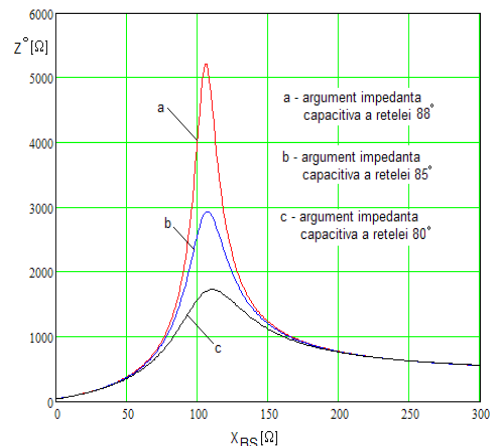


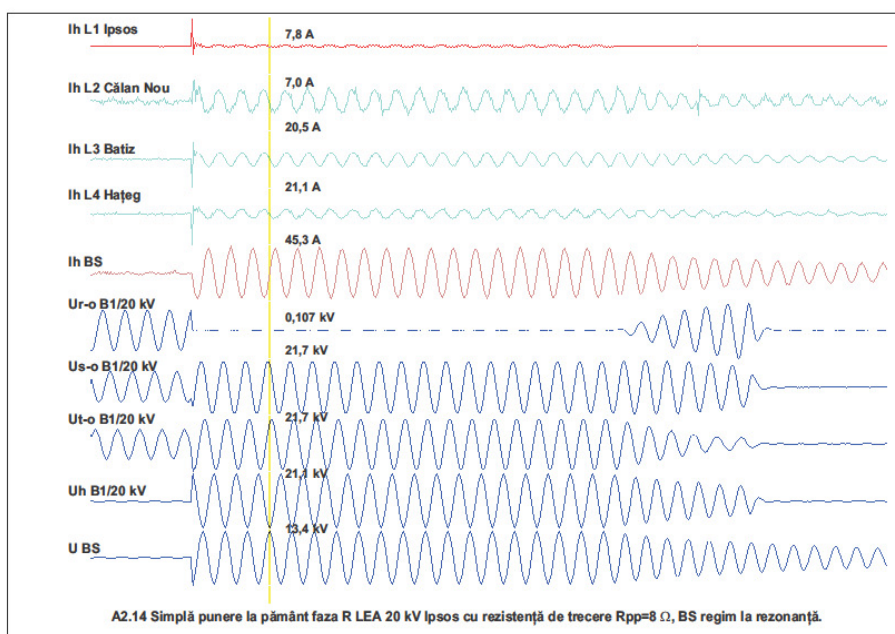
Fig.5 Dependenta valorii impedantei de secventa zero functie de reactanta bobinei de stingere

În **capitolul patru** se analizează defectul de tipul dublă punere la pământ în rețele cu neutru tratat prin bobină de stingere. Un defect de tipul dublă punere la pământ într-o rețea electrică de medie tensiune constă din două simple puneri la pământ (scurtcircuite monofazate) care pot avea loc pe faze diferite a unor linii electrice, sau pe faze diferite ale aceleiași linii de medie tensiune. Deci pentru un astfel de defect elementele nesimetrice conectează două noduri diferite (a_1 , b_1) ale aceleiași rețele simetrice cu rețeaua simetrică echivalentă pământului, rețea ai cărei parametrii sunt nuli. Dubla punere la pământ este considerată ca un caz particular al unui defect multiplu. Un astfel de defect a fost analizat considerând drept variabilă valoarea rezistenței de trecere la unul din locurile de defect (R_{p2}), iar parametru valoarea rezistenței de trecere la celălalt loc de defect (R_{p1}), respectiv valoarea curentului capacitiv total al rețelei de medie tensiune. În urma studiului realizat rezultă că la un astfel de defect dependența tensiunii de secvență zero aferentă barelor de medie tensiune ale stației de transformare este mai puțin pronunțată comparativ cu defectul de tip simplă punere la pământ, iar dacă la unul din locurile de defect rezistența de trecere 500 Ω defectul poate fi analizat ca o simplă punere la pământ.

În **capitolul cinci** sunt prezentate măsurătorile experimentale efectuate în rețeaua reală de medie tensiune. Determinările experimentale s-au efectuat în rețea de 6kV din stația de transformare 220/110/6kV Pestis și într-o rețea de 20kV din stația de transformare 110/20kV Călan-Strei. Rezultatele experimentale sunt prezentate în anexele 1, 2, 3. Defectele provocate controlat în cele două sectoare experimentale sunt de tipul simplă punere la pământ, iar la locul de defect s-au utilizat rezistențe de trecere de valori diferite, modificând-se și regimul de funcționare al rețelei de medie tensiune. S-au realizat trei regimuri de funcționare a rețelei de medie tensiune și anume: regim de funcționare subcompenat 15% și

REZUMATUL TEZEI

35%, regim de rezonanță, regim supracompensat 15%. Curentul capacitiv total al rețelei de 20kV este 46A. Pentru acest tip de rețea s-a calculat, în capitolul 3, coeficientul K_{U0} pentru a putea fi comparat cu rezultatele experimentale. Un exemplu de oscilogramă obținut este prezentată în fig. A2.14, obținută în cazul unui defect de tipul simplă punere la pământ provocat la începutul liniei de 20kV din stația de transformare 110/20kV Călan–Strei, rezistența de trecere la locul de defect fiind 8Ω , iar rețeaua funcționa în regim de rezonanță. Din oscilogramă se constată existența regimului tranzitoriu în momentul producerii defectului și a armonicilor în curentul de defect (curentul de secvență zero al liniei 20kV Ipsos).



Pentru înregistrarea tensiunilor și curenților din timpul defectului s-a utilizat echipamentul numeric specializat pentru înregistrarea fenomenelor din sistemele electroenergetice tip CDR1. Având în vedere riscul ridicat pentru deteriorarea unor echipamente din rețeaua de medie tensiune pe durata defectelor provocate, s-a impus conceperea și realizarea unui programator de probe, care să permită înregistrarea mărimilor înaintea provocării defectului, în timpul defectului și deconectarea liniei cu defect după un timp prestabilit (0,4 – 0,6s) indiferent că protecțiile au intervenit corect sau nu.

În **capitolul șase** se prezintă sistemului digital pentru reglarea automată a bobinei de stingere. În conceperea sistemului s-a ținut seama de cerințe tehnice rezultate din necesitatea asigurării unor regimuri de funcționare a rețelei de medie tensiune precum și de tehnologiile digitale existente la ora actuală. Echipamentului

REZUMATUL TEZEI

digital (microprocesore) îi pot fi atribuite și alte funcții pornind de la necesitate optimizării echipamentelor de protecții și automatizări.

În **capitolul șapte** se prezintă **concluziile rezultate** în urma studiului efectuat, precum și **contribuțiile originale** ale autorului. Principalele contribuții științifice ale autorului aduse prin teza de doctorat sunt: a) Realizarea unei sinteze a metodelor utilizate pentru tratarea neutrilor rețelelor electrice de medie tensiune, evidențiind avantajele și dezavantajele fiecăreia dintre metode; b) Introducerea coeficienților de reducere a tensiunii de secvență zero, a curenților capacitivi ai liniilor fără defect, a curentului de defect, a curentului prin bobina de stingere funcție de valoarea rezistenței de trecere la locul de defect și de caracteristicile rețelei de medie tensiune. Utilizarea acestor coeficienți permite calculul mult mai simplu a marimilor precizate. În lucrare se demonstrează că în cazul unui defect de tipul simplă punere la pământ apropiat de barele de medie tensiune ale stației de transformare cei patru coeficienți sunt identici. Un alt avantaj al acestor coeficienți constă în faptul că valoarea acestora nu depinde de valoarea tensiunii nominale a rețelei de medie tensiune ci doar de condițiile de la locul de defect și caracteristicile rețelei; c) Analiza modului în care curentul capacitiv total al rețelei de medie tensiune, starea izolației, valoarea rezistenței de trecere la locul de defect și regimul în care funcționează rețeaua influențează coeficienții de reducere a tensiunii de secvență zero, a curenților capacitivi ai liniilor fără defect, a curentului de defect și a curentului prin bobina de stingere; d) Analiza modului în care curentul capacitiv total al rețelei de medie tensiune și starea izolației influențează dependența impedanței de secvență zero văzută de la locul de defect funcție de valoarea reactanței bobinei de stingere. Este evidențiat faptul că pentru rețele de medie tensiune cu izolație de slabă calitate valoarea impedanței de secvență zero văzută de la locul de defect în regim de rezonanță scade foarte mult și totodată dependența valorii acesteia funcție de reactanța X_L a bobinei de stingere se modifică pronunțat. Din acest motiv reglarea bobinei astfel încât să se asigure pentru funcționarea rețelei de medie tensiune regimul de rezonanță devine foarte dificil; e) Evidențierea faptului că reglarea bobinei de stingere pentru a sigura regimul de funcționare la rezonanță a rețelei de medie tensiune este posibilă dacă se folosește ca mărime de control argumentul impedanței de secvență zero văzută de la locul de defect, mărime mult mai sensibilă la modificarea reactanței X_L decât valoarea acestei impedanțe; f) Conceperea și realizarea programatorului necesar pentru efectuarea determinărilor experimentale în rețeaua reală de medie tensiune. Programatorul permite comanda momentului de producere a defectului și a echipamentului de înregistrare a tensiunilor și curenților înaintea provocării defectului; g) Conceperea, realizarea sectorului experimental în rețeaua de medie tensiune reală cu tensiunea nominală 6kV, respectiv 20kV, și efectuarea determinărilor experimentale în cele două sectoare experimentale; h) Conceperea unei scheme de control digital al valorii inductanței bobinei de stingere astfel încât să se asigure automat regimul de funcționare al rețelei de medie tensiune, regim prestabilit.

Ing. Ion Petru RUSET