

Contract CNCSIS nr. nr. 750 / 19.01.2009

Cod CNCSIS nr. 485

Tipul proiectului: A

SINTEZA DE CERCETARE

**EXTINDEREA PARADIGMEI ANALIZEI SCURTCIRCUITELOR MONOFAZATE IN
RETELELE ELECTRICE DE INALTA TENSIUNE PRIN METODE CLASICE SI
EURISTICE**

-- Anul I --

DIRECTOR GRANT,

PROF. UNIV. DR. ING. MARIA VINȚAN

UNIVERSITATEA L. BLAGA DIN SIBIU

6 decembrie, 2009

1. Rezumatul proiectului

Proiectul de fata isi propune dezvoltarea unei cercetari stiintifice care vizeaza studiul, calculul si analiza efectelor punerii la pamant a unei faze in retelele electrice trifazate, inclusiv influenta acestui fenomen asupra conductelor metalice din apropierea liniilor electrice aeriene. Obiectivele acestui proiect, implicand o metodologie interdisciplinara de cercetare, sunt clasificate in 3 categorii majore: obiective legate de compatibilitatea electromagnetica (interferentele electromagnetice dintre liniile de inalta tensiune si conductele metalice situate in apropiere); obiective legate de calitatea energiei electrice, si anume de asigurarea continuitatii in alimentarea cu energie electrica a consumatorilor; largirea paradigmei analizei defectelor in sistemele electroenergetice prin introducerea unor metode euristice de invatare automata, in special a retelelor neuronale (cu invatare supervizata sau chiar nesupervizata – *clustering*). Perspectiva abordarilor este una trans si interdisciplinara, in conexiune cu domenii precum invatarea automata (*machine learning*), limbajele de programare si ingineria programarii, teoria algoritmilor si a complexitatii [1,2,3,4].

2. Obiectivele proiectului pentru anul 2009

An	Etapa	Obiective	Activități	Necesar resurse financiare (Valoare lei)
2009	Intermediara	1. Cercetarea principalelor metode, tehnici si algoritmi utilizati la calculul interferentelor electromagnetice dintre liniile electrice de inalta tensiune si conductele metalice aflate in apropiere	1.1. Studiu si cercetare bibliografica	9486,46 lei ((pct. 1 Deviz)+967,5 lei(pct. 2 Deviz) +5364,63lei (pct. 4 Deviz)
			1.2 Redactare raport stiintific	9486,46 lei (pct. 1 Deviz) +967,5 lei(pct. 2 Deviz)+1813,82 lei(pct. 3 Deviz);
	Total etapă			28086,37 lei
	Finala	1. Elaborarea unor metode de calcul hibride a interferentelor dintre liniile electrice de inalta tensiune si conductele metalice subterane.	1.1. Dezvoltare de modele pentru cazul LEA – conducte paralele	5023,52 lei (pct. 1 Deviz)+483,5 lei(pct. 2 Deviz)
			1.2 Dezvoltare de modele pentru cazul LEA – conducte non-paralele; aplicarea metodei bazata pe liniarizari mici ale paralelismelor (<i>piecewise</i>)	5023,52 lei (pct. 1 Deviz)+483,5 lei(pct. 2 Deviz)+200 lei (pct. 3 Deviz)+13304,73 lei(pct. 4 Deviz)
Total etapă			24518,77 lei	
TOTAL anul 2009				52605,13 lei

3. Sinteza activitatilor de cercetare realizate in anul 2009

Pe baza unui amplu studiu bibliografic se poate afirma ca exista doua mari categorii de metode care pot fi aplicate la studiul si analiza fenomenului de interferenta electromagnetica dintre liniile de inalta tensiune si conductele metalice subterane: metode bazate pe teoria campului electromagnetic si respectiv metode bazate pe teoria circuitelor. Tehnicile derivate din aceste metode au ca scop determinarea distributiei curentului de defect pe liniile electrice si calculul interferentelor electromagnetice (inductive, capacitive si conductive) dintre liniile de inalta tensiune si conductele metalice.

Metodele de calcul si de analiza a interferentelor electromagnetice bazate pe teoria campului electromagnetic sunt mai precise, dar sunt dificil de implementat si mari consumatoare de timp de procesare, chiar pe sisteme de calcul dintre cele mai performante. Avantajele metodelor si a tehnicii de calcul aparute in ultimele decenii au permis folosirea metodelor numerice de calcul al ecuatiilor lui Maxwell pentru sisteme cu geometrie si conditii de frontiera din ce in ce mai complicate. Cele mai cunoscute si aplicate metode numerice sunt: metoda momentelor, metoda elementelor finite, metoda elementelor de frontiera si metoda diferentelor finite. De remarcat faptul ca algoritmi numerici implementati sunt foarte mari consumatori de timp; pe de alta parte, acesti algoritmi numerici au un paralelism intrinsec evident, atat la nivelul codului cat si al datelor (procesare de matrici, retele neuronale, prelucrari vectoriale etc.). Prin urmare se urmareste procesarea paralela si distribuita a aplicatiilor numerice dezvoltate, pe retele de calcul puternice si cu ajutorul unor biblioteci specifice programarii distribuite, pentru comunicarea si sincronizarea firelor de executie aferente: MPI – *Message Passing Interface*, PVM – *Parallel Virtual Machine*, *Open MP* pentru sisteme de calcul cu nuclee multiple si memorie comuna partajata etc. [1,2].

Un alt dezavantaj al acestor metode consta in faptul ca nu tin cont de prezenta eventualelor imperfectiuni, defecte, discontinuitati ale invelisului conductelor metalice. Este mai ales cazul conductelor vechi, care pot prezenta in mod predilect astfel de imperfectiuni, cu dimensiuni de ordinul catorva milimetri, dar pot ajunge si la cativa centimetri. In zona acestor imperfectiuni pot aparea descarcari electrice atunci cand tensiunile induse in conducta metalica depasesc 1kV. Este de asemenea cazul conductelor metalice subterane folosite la irigatii, la care punctele de legatura dintre conducte si stropitori, frecvente si plasate la intervale cunoscute, modifica substantial valorile tensiunilor induse.

Tehnicele bazate pe teoria circuitelor presupun parcurgerea urmatoarelor 3 etape succesive: calculul parametrilor elementelor, construirea circuitului si apoi calculul si analiza acestuia. Calculul parametrilor liniilor se bazeaza pe doua ipoteze: (1) conductoarele liniilor si conductele metalice sunt de lungime foarte mare – practic infinite si (2) sunt paralele. In practica, liniile de inalta tensiune si conductele metalice situate in apropiere nu sunt intotdeauna paralele; distanta dintre ele se modifica, uneori se intersecteaza chiar, apar curbe, diverg, converg etc. In final, aceste ipoteze pot conduce la rezultate complet nesatisfacatoare pentru o analiza aprofundata si de mare acuratete a interferentelor electromagnetice.

Ca o prima contributie a acestui grant, in prima sa faza, s-a realizat o analiza actualizata a principalelor metode, tehnici si algoritmi utilizati la calculul interferentelor electromagnetice dintre liniile electrice de inalta tensiune si conductele metalice aflate in apropiere. Problema interferentelor electromagnetice dintre LEA si conductele metalice aflate in apropiere este amplu tratat in literatura de specialitate.

De-a lungul anilor 1970 si 1980, doua proiecte de cercetare realizate de *Electrical Power Research Institute* (EPRI) si *American Gas Association* (AGA) au avut ca scop analiza cuplajului inductiv dintre liniile de inalta tensiune si conductele de gaz. Au rezultat astfel expresii analitice simplificate, care insa puteau fi implementate pe calculator relativ usor. In anii care au urmat, un amplu proiect al celor doua organizatii, numit *Electromagnetic and Conductive Coupling Analysis from Powerlines and Pipelines*, conduce la realizarea unui program soft complex. Programul foloseste pentru inductivitatile proprii si mutuale expresii determinate pe baza formulelor lui Carson, Pollaczek si Sunde.

In 1992 un alt document intitulat *Guide Concerning Influence of High Voltage AC Power Systems on Metallic Pipelines*, elaborat de Cigre Working Group, trateaza problema influentei dintre liniile de inalta tensiune si conductele metalice. Obiectivele acestui document sunt: prezentarea diferitelor influente ale liniile de inalta tensiune asupra conductelor metalice si a problemelor care le insotesc, descrierea unor metode simple de calcul si masura, prezentarea modalitatilor de reducere a acestor influente si descrierea sistemului de protectie.

In continuare se enumera alte articole de referinta in problematica abordata:

Satsios s.a. – *Currents and Voltages Induced During Earth Faults in a System Consisting of*

a Transmission Line and a Parallel Pipeline, ETEP vol. 8, no. 3, May-June, 1998. In acest articol, autorii introduc metoda elementelor finite pentru calculul tensiunilor induse prin cuplaj inductiv in cazul unui sistem format dintr-o linie electrica si o conducta metalica subterana, paralela cu linia electrica.

Y. Li, F. P. Dawalibi, R. D. Southey – *Automatic Analysis of Electromagnetic Interference between Power Lines and Neighbouring Railways*, AREMA 2001, Annual Conference and Exposition, Chicago, 2001.

D.Markovic, V.Smith, S.Perera, S.Elphick - *Modelling of the Interaction between gas pipeline and power transmission lines in shared corridors*, Australian Universities Power Engineering Conference (AUPEC 2004), Brisbane, Australia. Autorii folosesc pentru calculul inductivitatilor proprii si mutuale utilizate la calculul tensiunilor induse prin cuplaj inductiv, aproximatii ale formulelor lui Carson.

Ametani, J. Kamba, Y. Hosokawa- *A simulation method of voltages and currents on a gas pipeline, and its fault location*, IEEJ Transactions, Vol.123, No.10, 2003. Autorii prezinta o metoda de determinare a tensiunilor induse in conducte bazata pe simulari in EMTP – *Electromagnetic transient program*.

H. Badi, M. A. Salam- *Computation of the Capacitive Coupling in Conductors Installed nearby AC Power Lines*, IEEE PES Transmission and Distribution Conference and Exposition Latin America, Venezuela 2006. Autorii folosesc metoda elementelor finite la determinarea cuplajului capacitiv.

Dan D. Micu, Emil Simion, Dan Micu, Andrei Ceclan - *Numerical Methods for Induced Voltage Evaluation in Electromagnetic Interference Problems*, 9-th International Conference. Electrical Power Quality and Utilisation, Barcelona, 2007. Autorii acesui articol folosesc metoda diferentelor finite la calculul tensiunilor induse in conductele subterane. Autorii prezinta de asemenea, comparatii intre rezultatele obtinute cu metoda folosita si cele obtinute cu metoda elementelor finite.

Urmatoarele articole trateaza interferentele electromagnetice la care sunt supuse conductele subterane folosite la irigatii, aflate in apropierea liniilor electrice de inalta tensiune.

G. C. Christoforidis, D. P. Labridis, P. S. Dokopoulos- *Inductive Interference of Power Lines on Buried Irrigation Pipelines*, IEEE Bologna Power Tech Conference, Bologna, Italy, 2003.

G. C. Christoforidis, D. P. Labridis, P. S. Dokopoulos - *Inductive interference calculation on imperfect coated pipelines due to nearby faulted parallel transmission lines*, Electric Power Systems Research, 2003

Carti utile scrise in limba romana (selectiv):

I. Lingvay - *Coroziunea datorata curentilor de dispersie vagabonzi*, Editura Electra, Bucuresti 2005, ISBN: 973-7728-54-8

E. Simion, *Interferenta Electromagnetica*. Casa Cartii de Stiinta, Cluj-Napoca, 1999.

G. Hortopan, *Principii si tehnici de compatibilitate electromagnetica*. Editura Tehnica, Bucuresti, 1998.

M. Chindris s.a. - *Utilizarea energiei electrice*, Editura MEDIAMIRA, Cluj-Napoca, 2000

N. Golovanov, P. Garibald, T. Dumitrana, S. Coatu - *Evaluarea riscurilor determinate de descarcarile electrostatice*, Editura Tehnica, Bucuresti, 2000

Un efect direct ale interferentei electromagnetice asupra conductelor il reprezinta coroziunea. Densitatea de curent indusa in structurile metalice amplifica fenomenul de coroziune. De fapt, daca densitatea de curent are o valoare suficient de mare pentru a determina o crestere locala a temperaturii, fenomenul de coroziune creste liniar cu aceasta (cf. Francesco Latarrulo, *Electromagnetic Compatibility in Power Systems*, Elsevier 2007). Ca urmare a tuturor acestor preocupari, la editia din anul 2002 a CEODOR (Conferinta stiintifica bianuala a asociatiei europene a administratorilor de retele metalice subterane), peste 80% din lucrarile prezentate analizeaza cazurile de coroziune in curent alternativ – ceea ce demonstreaza actualitatea si importanta practica deosebita a problematicii.

Alt aspect, aflat în strânsă legătură cu interferența electromagnetică dintre liniile de înaltă tensiune și conductele metalice, îl reprezintă efectul tensiunilor induse asupra nivelului protecției catodice a conductelor metalice. De asemenea, tensiunile induse prin cuplaj inductiv sau conductiv în conductele metalice pot duce la valori periculoase ale tensiunilor de atingere.

Unul dintre efectele agresive ale punerilor la pământ pe liniile electrice îl reprezintă apariția interferențelor electromagnetice care se manifestă între liniile electrice de înaltă tensiune și liniile de telecomunicații, sinele de cale ferată, conductele metalice - aeriene sau subterane - aflate în imediată vecinătate. Orice curent de descărcare pe un stâlp al unei linii electrice aeriene, datorat unei puneri la pământ prin arc, se închide la pământ prin baza stâlpului defect, dar și prin conductoarele de protecție și prin ceilalți stâlpi [5]. Dacă liniile electrice sunt amplasate în apropierea unor sine de cale ferată, conducte metalice utilizate la transportul fluidelor, sau linii de telecomunicații, acestea din urmă vor fi afectate de interferențe electromagnetice. Interferențele electromagnetice se manifestă și în regim normal de funcționare al rețelelor electrice, dar mai ales în regim de avarie, când pe linia electrică apare o punere la pământ. În regim normal de funcționare se manifestă doar interferențe datorate cuplajului inductiv. Dacă sistemul de curenți care circulă pe linia electrică este trifazat simetric, atunci tensiunile induse în conductele metalice au valori reduse (nu sunt nule datorită distanțelor diferite dintre conductoarele active ale liniei și conductă respectiva). În cazul în care pe linia electrică apare o punere la pământ, atunci tensiunile induse în conductele metalice aflate în apropiere sunt datorate atât cuplajului inductiv, cât și celui conductiv. Cuplajul capacitiv se manifestă în cazul conductelor metalice aeriene, izolate față de pământ, acesta putând fi ignorat în cazul conductelor metalice subterane.

Rețelele electrice de înaltă tensiune au realizat o legătură rigidă la pământ a punctului neutru al unui, sau mai multor transformatoare. La aceste rețele, orice punere la pământ a unei faze devine un scurtcircuit monofazat. Curentul de scurtcircuit monofazat se închide prin pământ, legăturile punctelor neutre ale transformatoarelor și autotransformatoarelor și faza cu defect. Pentru protecția liniilor electrice aeriene ale acestor rețele împotriva supratensiunilor atmosferice, se folosesc conductoare de protecție legate la pământ. În general, metodele de calcul al curentului de scurtcircuit monofazat permit determinarea curentului la locul de scurtcircuit și nu a curenților prin elementele longitudinale de rețea, pentru determinarea acestora fiind necesară parcurgerea altei etape, care presupune determinarea repartiției curentului de defect.

În cadrul acestei problematice, directorul de grant și un membru al echipei de cercetare au publicat lucrarea [5]. Considerându-se cunoscute valorile curenților la locul de defect, se determină distribuția acestora în rețeaua electrică. Se pot determina astfel valorile curenților în stâlpii liniei electrice, în porțiunile de conductor de protecție adiacente și valorile curenților care circulă prin legăturile la pământ ale neutrelor transformatoarelor și autotransformatoarelor din stațiile de la capetele liniei analizate. S-a prezentat, de asemenea, influența conductoarelor de protecție asupra distribuției curentului de defect, atunci când defectul apare la un stâlp oarecare al unei linii electrice aeriene.

Tot în cadrul acestei faze a grantului s-a conceput un *Sistem expert pentru diagnoza regimurilor staționare ale rețelelor electrice de distribuție* [3,4].

În ultima perioadă, tehnologia sistemelor expert (SE) a câștigat interes deosebit în diverse domenii. Un aspect al tendinței curente este aplicarea SE în diverse probleme ingineresti și activități productive. Acest lucru este valabil și pentru domeniul ingineriei electrice și este estimat că el va continua în viitor. Un SE este un program pentru calculator care are o bază de cunoștințe (date și reguli), un motor de inferență și o interfață utilizator. El este proiectat să rezolve sarcini dificile într-o manieră asemănătoare cu a expertului uman. SE oferă un număr de avantaje [3,4]:

1. *Asistă expertii umani*. Un SE poate realiza performanță la un nivel atins de o persoană cu expertiză recunoscută în domeniul respectiv de competență. De aceea, el poate reduce sarcinile manuale obositoare și redundante și oferă expertului uman un mediu care îi crește productivitatea și ca urmare conduce la o funcționare eficientă. În domeniul sistemelor electroenergetice SE au fost deja aplicate

pentru asistarea operatorilor la supravegherea și controlul funcționării sistemului și în prezent există suficientă expertiză în acest domeniu.

2. *Flexibilitate*. Fiecare regulă de producție reprezintă o piesă de cunoaștere relevantă referitor la o anumită problemă. De aceea este foarte ușor să se adauge, să se îndepărteze sau să se modifice o anumită regulă din baza de cunoștințe, pe măsură ce experiența în domeniu se dezvoltă. Această calitate este foarte potrivită pentru domeniul SEE deoarece permite îmbunătățirea permanentă a performanțelor SE.

3. *Transparență*. Regulile de producție ca mod de reprezentare a cunoștințelor, sunt asemănătoare limbajului natural uman și de aceea ușor de înțeles. SE pot prezenta pașii care conduc la concluzie și se poate explica procesul de raționare. Utilizatorul poate confirma sau corecta concluzia prin examinarea explicațiilor date de mașina de inferență.

4. *Universalitate*. Baza de cunoștințe depinde de domeniul de aplicație al SE dar mașina de inferență și interfața utilizator sunt independente. De ceea, prin înlocuirea bazei de cunoștințe pentru același nucleu se pot obține ES diferite.

5. *Rapiditate*. SE poate realiza expertiza corectă oricând este nevoie de acesta. SE asigură o reacție mult mai rapidă la situațiile de urgență decât experții umani.

Toate aceste calități ale SE le fac foarte utile de aplicat la urmărirea și conducerea regimurilor rețelelor electrice de distribuție (RED) unde calculatorul poate substitui cu succes activitatea omului.

Au fost publicate în acest sens două lucrări științifice [3,4]. Prima lucrare prezintă aspectele teoretice ale aplicării diagnozei bazate pe model la diagnoza regimurilor staționare de funcționare ale rețelelor electrice de distribuție. Rezultatele oferă criteriile de proiectare privind implementarea metodologiei într-un sistem expert care să poată fi utilizat de operatorii de sistem pentru luarea în timp real unor decizii optime. Cea de-a doua lucrare prezintă sistemul expert DiagRED pentru diagnoza regimurilor staționare ale rețelelor electrice de distribuție. Sunt prezentate structura și componentele DiagRED. Sunt descrise baza de date, baza de cunoștințe și interfața utilizator. Principalii funcționari și principalele reguli, implementate în limbajul Prolog, sunt prezentate și comentate.

Sistemul DiagRED descris în lucrările [3,4] este un sistem expert pentru diagnoza regimurilor staționare ale RED. Construit în limbajul Prolog, DiagRED prezintă o serie de avantaje: asistarea operatorilor de sistem, rapiditate, flexibilitate și transparență. El acționează ca un expert uman realizând judecăți corecte cu privire la regimul staționar al RED. Interfața sa este foarte simplă și prietenoasă. Regulile de diagnoză utilizate sunt complexe dar foarte logice, conținând considerații economice, tehnice și euristice. Diagnoza realizată de DiagRED pornește de la efectele observate ca și simptome (valori ale tensiunilor și puterilor injectate neoptime) și ajunge la cauze, care sunt de fapt măsurile de reparare aplicate reguletoarelor de tensiune și putere activă.

4. Concluzii

- S-a elaborat o sinteză critică, valoroasă, legată de interferențele electromagnetice dintre liniile electrice de înaltă tensiune și conductele metalice aflate în apropiere, cu evidențierea principalelor limitări actuale, dar și a oportunităților de cercetare.
- Valorile tensiunilor induse și ale curenților depind de locul de defect, potențialul la baza stălpului cu defect, de distanța dintre linia electrică și conducta metalică, de valoarea impedanței de legare la pământ a stălpului cu defect și de valoarea rezistivității electrice a solului. Ținând cont de acest lucru, s-a realizat o analiză detaliată a influenței acestor factori asupra valorilor tensiunilor induse și ale curenților.
- S-au făcut comparații ale rezultatelor obținute prin metodele implementate cu cele publicate în literatura de specialitate.
- S-a conceput un *Sistem expert pentru diagnoza regimurilor staționare ale rețelelor electrice de distribuție*.

- S-au publicat – numai in prima faza a acestui grant – 5 articole stiintifice (2 in reviste cotate ISI cu factor de impact si alte 3 in reviste CNCSIS B+) avand ca autori pe directorul de grant si/sau membri ai echipei de cercetare.

5. Referințe bibliografice - reprezentând exclusiv contribuțiile științifice ale echipei de cercetare realizate în cadrul anului I al grantului de cercetare (autorii membri ai echipei de cercetare sunt evidențiați prin caractere de tip “bold”)

Această sinteză a cercetării conține informații științifice obținute în urma studiului realizat. Parte din aceste informații au fost publicate de către echipa de cercetare în anul 2009. Toate aceste publicații se referă la aspecte științifice abordate în cadrul grantului CNCSIS nr. 750 / 19.01.2009 iar autorii sunt membri ai echipei de cercetare.

1. A. GELLERT, A. FLOREA, L. VINTAN - *Exploiting Selective Instruction Reuse and Value Prediction in a Superscalar Architecture*, Journal of Systems Architecture, vol. 55, issues 3, pp. 188-195, ISSN 1383-7621, Elsevier, 2009 (cotată ISI Thomson Journals - <http://scientific.thomsonreuters.com/cgi-bin/jrnlst/jlresults.cgi?PC=MASTER&ISSN=1383-7621>, <http://dx.doi.org/10.1016/j.sysarc.2008.11.002>, Impact Factor = 0.828 cf. http://www.cnscis.ro/IC8/2009_files/Factor_relativ_ajustat.pdf). Indexată în ScienceDirect, v. http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleListURL&method=list&ArticleListID=902082850&sort=d&view=c&acct=C000064540&version=1&urlVersion=0&userid=4714271&md5=2671eef6ddace41d9e490b73aaabb9f7

2. FLOREA A., GELLERT A., VINTAN L., VINTAN M. - *The Impact of Java Applications at Microarchitectural Level from Branch Prediction Perspectives*, International Journal of Computers, Communications & Control (IJCCC), Agora University Editing House - CCC Publications, ISSN 1841 – 9836, E-ISSN 1841-9844, Vol. IV, No. 1, pp. 27-40, 2009, v. <http://journal.univagora.ro/?page=contents> (cotată ISI Thomson Journals - <http://scientific.thomson.com/cgi-bin/jrnlst/jlresults.cgi?PC=MASTER&Word=computers>); Impact Factor=0.333, cf. http://www.cnscis.ro/IC8/2009_files/Factor_relativ_ajustat.pdf

3. TANASE G., BORLEA I., VINȚAN M. et al - *Expert system for steady state operation diagnosis of electrical distribution networks. Theory and Basic Concepts*, Scientific Bulletin of the “Politehnica” University of Timisoara, Transaction on Power Engineering, Tom 54(68), pp. 497-502, ISSN 1582-7194, November 2009, Timișoara (THE 8th INTERNATIONAL POWER SYSTEMS CONFERENCE PSC 2009), (CNCSIS B+) http://vechi.cnscis.ro/cenaposs/2009/rev_ed/reviste_cat_B+.pdf

4. TANASE G., BORLEA I., VINȚAN M. et al - *Expert system for steady state operation diagnosis of electrical distribution networks. Software and case study*, Scientific Bulletin of the “Politehnica” University of Timisoara, Transaction on Power Engineering, Tom 54(68), pp. 503-510, ISSN 1582-7194, November 2009, Timișoara (THE 8th INTERNATIONAL POWER SYSTEMS CONFERENCE PSC 2009), (CNCSIS B+), http://vechi.cnscis.ro/cenaposs/2009/rev_ed/reviste_cat_B+.pdf

5. VINȚAN M., BORLEA I. - *Ground wires influence on the ground fault current distribution on overhead transmission lines*, Scientific Bulletin of the “Politehnica” University of Timisoara, Transaction on Power Engineering, Tom 54(68), pp. 555-562, ISSN 1582-7194, November 2009, Timișoara (THE 8th INTERNATIONAL POWER SYSTEMS CONFERENCE PSC 2009), (CNCSIS B+), http://vechi.cnscis.ro/cenaposs/2009/rev_ed/reviste_cat_B+.pdf