

RAPORT TEHNIC - ID_1024

Model matematic pentru studiul influențelor poluării electromagnetice în c.a. a conductelor metalice subterane de gaz, cu și fără protecție catodică, aflate în vecinătatea unei stații de transformare
FAZA 1

Studiul sistematic al literaturii de specialitate și al pachetelor software existente pentru analiza fenomenelor de cuplaje electromagnetice și predicție a fenomenelor de coroziune

Instalațiile aferente sistemului de producție-transport-distribuție a energiei electrice, precum și echipamentele electrice și electronice (consumatorii de energie electrică), prin specificul lor sunt surse de perturbații electromagnetice (PEM) pentru sistemele naturale (materie vie) sau industriale (sisteme electrice receptoare de perturbații electromagnetice, sisteme electrochimice industriale – cum ar fi structurile metalice care funcționează în medii electrolitice). [1.1]-[1.12]

Complexitatea teoretică a problemei rezultă atât din multitudinea și diversitatea structurilor metalice (rețele de distribuție a gazelor naturale, rețele de alimentare cu apă, rețele electrice prin cabluri, magistrale de transport diverse hidrocarburi, armături din oțel ale structurilor de rezistență din beton armat etc.), care, de obicei, funcționează, fie în același mediu electrolitic (sol, ape freatică, apă de mare etc.), fie în medii cuplate și interacționează galvanic, din diversitatea mediului electrochimic (soluri cu mineralizări și încărcări bacteriologice diferite, betoane cu caracteristici diferite, ape freatică etc.), cât și din impactul semnalelor electrice perturbatoare (generatoare de curenți de dispersie) asupra vitezei și cineticii reacțiilor de coroziune electrochimică. [1.9]

În condițiile actuale de dezvoltare tehnologică și industrială, caracterizată, în primul rând, prin creșterea atât a producției, cât și a consumului de energie electrică și, implicit, intensificarea poluării electromagnetice a biosferei cu semnale electrice în c.a. deosebit de complexe, se impune studiul aprofundat al influenței semnalelor în c.a. suprapuse proceselor și reacțiilor electrochimice care au loc în natură (fotosinteza, procesele redox de la interfața citoplasmă / membrană celulară, coroziunea metalelor etc.) [1.2], [1.11]. Efectul accelerator de coroziune al curenților de dispersie în c.a. a fost demonstrat atât teoretic, cât și experimental [1.3], [1.5], [1.7], [1.9], [1.10], [1.13], [1.14], [1.21], [1.47], [1.36], [1.48].

Studiul influenței semnalelor în curent alternativ suprapuse sistemelor electrochimice reprezintă o problemă complexă, cu importanță practică deosebită [1.9], [1.48].

În practică, marile magistrale energetice de transport al energiei electrice pe de o parte (linii electrice aeriene de foarte înaltă tensiune LEA-FÎT) și de gaze naturale, țiței și alte produse petroliere (conducte metalice subterane CMS), de obicei sunt pozate pe trasee comune. În aceste condiții, pe distanțe relativ mari (de ordinul kilometrilor sau de zeci de kilometri) LEA-FÎT și CMS au traseu comun, aproximativ paralel, situație în care datorită perturbațiilor electromagnetice produse de LEA-FÎT și instalațiile aferente (stații de transformare, etc.) în sistemele electrochimice oțel/sol aferente CMS sunt perturbate, în sensul că viteza de coroziune a oțelului crește apreciabil – cu toate implicațiile aferente asupra durabilității și siguranței în exploatare a conductelor subterane din oțel. [1.48]

Studiul perturbațiilor produse de liniile de înaltă tensiune în regim armonic, asupra structurilor metalice din vecinătate (elementele de susținere din beton armat aferente sistemului energetic, rețelele de conducte subterane și supraterane) a evidențiat apariția unui câmp de curenți în mediul considerat disipativ; ca urmare, s-a pus problema extinderii cercetărilor asupra analizei difuziei curentului electric în regim cvasistaționar magnetic [1.1], [1.3], [1.4], [1.6], [1.11], [1.12].

Tensiunile electromotoare induse în conductele metalice subterane, respectiv curenții de dispersie din sol sunt considerate surse generatoare de pericol, cel puțin din două puncte de vedere: al electrosecurității conductelor și a instalațiilor cu care acestea sunt cuplate galvanic (stații de pompare, stații de predare, instalațiile de utilizare gaze naturale etc.), a siguranței personalului de întreținere pe de o parte și al coroziunii electrochimice accelerate pe de altă parte. Se remarcă faptul că, în cazul prezentat în figura 1, este posibil ca structura metalică (conducta) să aibă și porțiuni pozate aparent (traversări de râuri, șanțuri etc.), situație în care conducta este expusă simultan și riscului de încărcare cu sarcini electrice la tensiuni periculoase (contact direct cu conductori electrice sub tensiune, încărcări electrostatice etc.), situații în care, pe lângă controlul coroziunii, se impune și asigurarea electroprotecției conductei.

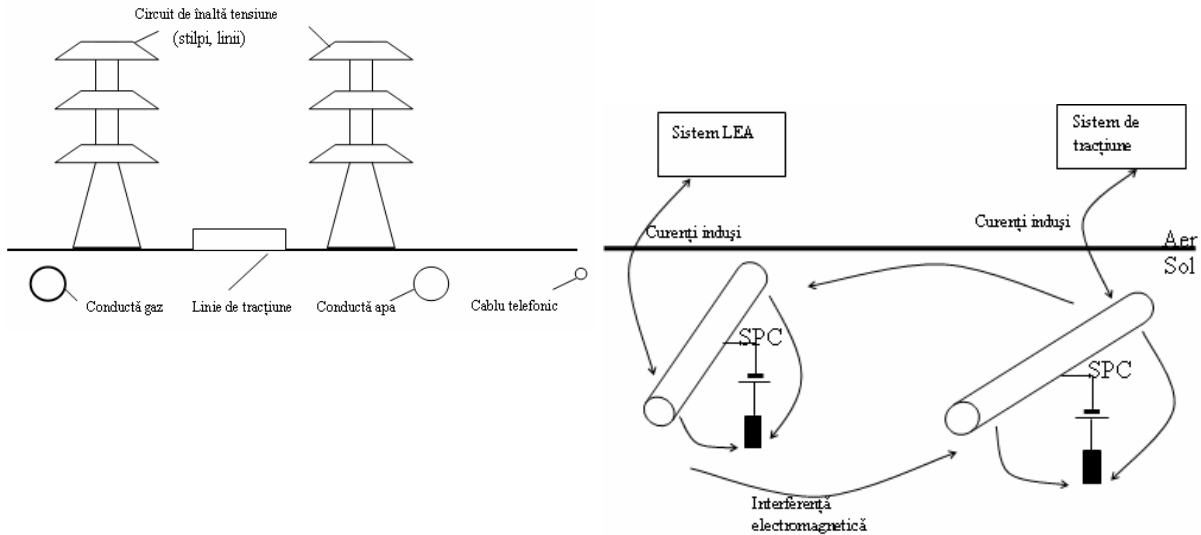


Figura 1. Tronson comun. Interferențe electromagnetice (SPC-sistem de protecție catodică)

Spre deosebire de sistemele generatoare de curenți de dispersie în c.c., semnale perturbatoare în c.a. ale reacțiilor de coroziune ce au loc la interfața metal / electrolit pot proveni din rețelele de transport și distribuție a energiei electrice, atât prin inducție (situații în care structura metalică subterană este pozată în apropierea liniilor electrice aeriene, cât și datorită curenților de dezechilibru care circulă între prizele de împământare aferente sistemului energetic trifazat, în stațiile de transformare (prezentată schematic în figura 2). [1.5], [1.13], [1.36]

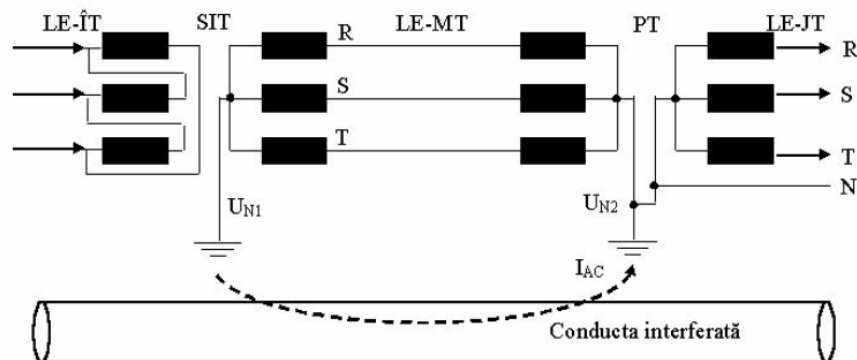


Figura 2. Schema curenților de dispersie în c.a. datorită dezechilibrelor din sistemul energetic trifazat

În cazul protecției electrice a rețelelor subterane de conducte, soluționarea problemei electrocinetice are caracter primordial. [1.2], [1.4]

Solul împreună cu rețelele îngropate constituie un conductor masiv, de întindere practic infinită, în care căderile de tensiune de-a lungul conductelor sunt semnificative. Pentru realizarea corectă a protecției (electroprotecției și a protecției împotriva coroziunii) este esențial ca valoarea potențialului conductă / sol, în fiecare punct al rețelei, să se înscrie în limitele în care, pentru metalul și caracteristicile soluției electrolitice din sol, să fie asigurată stabilitatea termodinamică a echilibrului metal-electrolit (solid – sol, respectiv lichid – ape freatică, apă de mare etc.). Aceasta implică însă cunoașterea exactă a repartiției potențialului în funcție de conductivitatea mediului și de pozițiile și intensitățile surselor alimentate din exterior. În anumite zone, potențialul datorat acestui câmp de curenți produce printr-un proces de electroliză coroziunea conductelor, iar dacă nu sunt luate la timp măsurile de protecție adecvate, efectele produse sunt rapide și deosebit de grave (ca urmare a densităților de curent în general mari). [1.9], [1.10].

În aceste condiții, modelarea numerică și analitică a situațiilor concrete din teren reprezintă singura metodă viabilă și eficientă de predicție a zonelor de risc cu potențiale periculoase și de analiză a metodelor eficiente de înlăturare a efectelor negative ale acestora. Trebuie să se elaboreze modele fizico-matematice care pot furniza valori de referință pentru măsurătorile specifice în punctele operaționale, date extrem de utile în urmărirea și rezolvarea oricărei posibile anomalii în funcționarea corectă a sistemelor supuse analizei [1.3], [1.4], [1.6], [1.7], [1.8], [1.11], [1.12], [1.13].

Din aceste puncte de vedere, dezvoltarea de metode specifice de analiză, instrumente dedicate de modelare, precum și colectarea de informații necesare pentru identificarea, modelarea și predicția problemelor de interferență electromagnetică în c.a., reprezintă în prezent o cerință extrem de importantă – atât în ceea ce privește perturbarea electromagnetică a materiei vii [1.31÷1.35], cât și a structurilor metalice care funcționează în medii electrolitice [1.36], cerințe care sunt de obicei tehnice reglementate [1.37 ÷ 1.43].

În condițiile tehnice actuale, pe sistemele de transport și distribuție a energiei electrice, apar diferențe de potențial la nivelul solului între diverse puncte geografice și deci apar implicit curenții de dispersie corespunzători cu un spectru de frecvențe foarte larg. În aceste condiții, semnalul electric care apare la interfața metal-sol este foarte complex și este de fapt rezultanta suprapunerii tuturor curenților de dispersie care circula și se închid prin sol (proveniți atât de la sistemele alimentate în c.c. cât și din lanțul de producere/transport/distribuție/utilizare a energiei electrice), dominantă fiind componenta de 50 Hz, care practic este modulată cu celelalte semnale perturbatoare. Se impune deci un studiu complet al acestei poluări electromagnetice și a impactului ei asupra conductelor îngropate [1.2], [1.9], [1.36].

Studii teoretice privind influența trecerii unui curent alternativ sinusoidal (nedeformat) prin interfața metal/sol au fost realizate de J Davay (1964) și au demonstrat faptul că parametrii cinetici ai reacțiilor electrochimice sunt influențați de semnale sinusoidale liniare suprapuse. În practică în special în ultimul deceniu s-au înregistrat numeroase degradări accelerate de conducte metalice subterane de gaz, datorită curenților de dispersie în c.a. Aceste semnale electrice care poluează electromagnetic solul sunt foarte complexe forma lor putând fi și mult diferită de cea a sinusoidelor (aparitia tiristoarelor de foarte mare putere în acționările electrice contribuie la creșterea substanțială a neliniarității curenților de dispersie produși de rețelele electrice) [1.9], [1.5].

Este foarte important cunoașterea următoarelor două elemente: amplitudinea (de vârf) a semnalului perturbator; valoarea efectivă a semnalului perturbator. Potențialul care se stabilește la interfața conductă metalică/sol furnizează informații privind atât viteza de coroziune a metalului cât și integritatea stratului izolator. În condițiile de dezvoltare tehnologică se dorește asigurarea pe termen lung a unor condiții curate și sigure de muncă și viață deci în fapt asigurarea unei mentenabilități și siguranțe în exploatare corespunzătoare a magistralelor de transport și distribuție [1.8], [1.36].

Abordarea tradițională în analiza câmpului electromagnetic din jurul conductoarelor cilindrice infinite lungi aflate în vecinătatea unui semispațiu disipativ (pământul) a fost publicată pentru prima oară, într-o variantă simplificată, la începutul secolului trecut. Cu toate acestea, primele metode analitice elaborate și cunoscute pe plan mondial au fost dezvoltate independent în anii '20 de către Carson [1.14] și Pollaczek [1.15]. De atunci au apărut o serie de îmbunătățiri ale formulării de bază, prin introducerea anumitor prezumții și restricții în modelarea fenomenului. Menționăm astfel lucrările lui Sunde [1.16], Wait [1.17], Kuester [1.18], Olsen [1.19] și Fraiser [1.20]. Introducerea calculatoarelor în deceniile următoare a adus o evoluție considerabilă în ceea ce privește metodele de calcul ale efectelor cuplajelor de tip inductiv și conductiv în regim cvasistaționar de curent alternativ.

Metodele de rezolvare a acestei categorii de probleme pot fi sintetizate astfel [1.21]:

- *“metoda conductorului lung”* sau metoda circuitelor electrice, descrisă pe larg în câteva rapoarte de cercetare ale Electrical Power Research Institute (EPRI), American Gas Association (AGA) și Canadian Electrical Association (CEA). Acest model utilizează circuite echivalente cu parametri concentrați sau distribuiți, iar impedanțele proprii, respectiv cele mutuale sunt determinate utilizând relațiile analitice din [1.14], [1.15] sau metode din teoria câmpului [1.27]. Acest mod de abordare conduce relativ rapid la soluții de precizie bună, însă metoda este utilizabilă în cazul unei categorii limitate de aplicații, care însă ar fi fost foarte dificil de soluționat prin alte metode. Acest procedeu nu poate fi însă utilizat în cazul problemelor cu conductoare plasate în interiorul unui mediu disipativ tridimensional (pământul), unde se presupun conductoare scurte și plasate arbitrar în acest spațiu. [1.3], [1.27]

- “metoda conductorului scurt” sau metoda câmpului electromagnetic (bazată pe ecuațiile lui Maxwell) cu simplificările bine cunoscute. Problemele sunt rezolvate utilizând diferite metode de analiză numerică, mai ales metoda elementelor finite [1.22].

În 1995 a fost elaborat, în cadrul CIGRE Working Group 36.02, documentul intitulat *Guide Concerning Influence of High Voltage AC Power Systems on Metallic Pipelines* [1.23] care abordează influența dispozitivelor energetice de înaltă tensiune asupra conductelor metalice aflate în vecinătatea acestora. Acest studiu reprezintă un document de referință în domeniu și sintetizează aspectele:

- prezentarea diferitelor categorii de perturbații electromagnetice;
- descrierea metodelor simple de evaluare a fenomenelor de interferență electromagnetică;
- prezentarea principalelor căi și mijloace de reducere a influențelor acestora precum și descrierea celor mai importante sisteme de protecție.

Pe plan internațional există disponibile pe piață câteva pachete software de simulare a fenomenelor de interferență electromagnetică în regim cvasistaționar de tip armonic dintre liniile de transmisie de înaltă tensiune și conductele metalice subterane, bazate pe metoda de abordare menționată mai sus, respectiv “metoda conductorului lung” sau metoda circuitelor electrice.

Două dintre cele mai cunoscute pachete software de acest tip sunt:

- ECCAPP dezvoltat de către Electric Power Research Institute (EPRI/AGA); [1.25]
- CDEGS dezvoltat de către Safe Engineering Services (SES); [1.22]
- CAT.Pro dezvoltat de către Vrije Universiteit Brussels în colaborare cu firma Elsyca-Brussel. [1.28]

Un grup de cercetători de la Universitatea VUB din Brussels, în colaborare cu firma Elsyca din Brussels, a dezvoltat un model tridimensional de calcul în regim staționar de c.c., capabil să analizeze structuri conținând rețele largi de conductoare subterane; modelul poate evalua inclusiv curenții vagabonzi provenind de la alte sisteme de protecție catodică, respectiv de la șinele de cale ferată. “Metoda conductorului scurt”, stă la baza acestui soft care permite modelarea unor structuri reale de tracțiune electrică cu una sau mai multe garnituri de tren aflate în mișcare; toate sunt plasate în vecinătatea unei conducte metalice subterane cu o anumită structură geometrică și respectiv proprietăți electro-fizice. Programul CatPro este foarte flexibil și permite evaluarea unui set foarte mare de parametri electrici, pentru configurații geometrice arbitrare, dintre care amintim: valoarea potențialului electric în sol la diferite adâncimi [1.28].

Contribuții importante în domeniu au fost publicate de către grupul de cercetare al catedrei de Electrotehnică din Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca (E. Simion, V. Țopa, C. Munteanu, Dan D. Micu) care, în cadrul contractului bilateral româno-flamand BILA [1.1] intitulat: *Development of methods and tools for analysis of the electromagnetic AC interference between high voltage transmission systems and metallic pipelines*, au realizat determinarea unei soluții precise ale problemei de câmp și a implementat noua soluție fundamentală în metoda elementelor de frontieră. Prin acest pas s-a redus în mod considerabil efortul de calcul prin eliminarea discretizării interfeței dintre cele două semispații, și nu în ultimul rând, s-a obținut creșterea substanțială a preciziei soluției numerice [1.1], [1.10], [1.27], [1.28].

Pentru a determina cu precizie efectele de tip conductiv și inductiv din pământ (ca semispațiu disipativ) în regim cvasistaționar de tip armonic este necesară elaborarea unei soluții globale generale a ecuațiilor lui Maxwell care descriu corect problema de câmp electromagnetic. Modelul astfel construit utilizează elemente de tip ‘conductă - pipelines’ specifice analizei structurilor cu conductoare cilindrice împreună cu utilizarea unei metode numerice în vederea modelării câmpului electromagnetic în interiorul și exteriorul conductoarelor. Este necesară elaborarea unei probleme de regim cvasistaționar magnetic ce conține o interfață între un semispațiu dielectric ce conține sursa de câmp (conductorul sursă) și semispațiul disipativ în care sunt plasate conductoarele victimă. Elaborarea unei astfel de probleme se va baza pe utilizarea teoriei imaginilor electrice modificate adică metoda imaginilor complexe care utilizează teoria PCRP - planul complex de retur [1.3], [1.12], [1.29].

În comparație cu metodele clasice de abordare a acestei categorii de probleme, s-ar putea obținerea îmbunătățiri prin:

- estimarea cu acuratețe a efectelor interferenței electromagnetice în regim armonic permanent dintre orice sistem de linii de înaltă tensiune și rețea de conducte metalice subterane;

- determinarea potențialelor c.a. locale dintre conducte și sol, a tensiunilor de atingere; distribuția de potențial în oricare punct din sol precum și pe suprafața pământului; curenții de conducție în lungul conductelor; densitățile curenților de dispersie la suprafața de separație conductă - sol.

În continuare se va face pe scurt o trecere în revistă a programelor create de SES (Safe Engineering Services & Technologies – prof. Farid P. Dawalibi) [1.21], [1.22], [1.25].

RIGHT-OF-WAY este un software creat de SES pentru analiza interferențelor electromagnetice dintre liniile de înaltă tensiune și instalațiile tehnologice adiacente cum ar fi și conductele îngropate. A fost special creat pentru a simplifica modelarea numerică a configurațiilor complexe ale traseelor comune dintre linie și conductă. Programul poate simula automat defecte pe linia de transmisie la intervale regulate în zona comună linie – conductă. Cu acest program se pot calcula curenții longitudinali induși în conductă, curenții injectați în sol, potențialele între diverse puncte, etc. Softwarul Right-of-Way include modulele TRALIN (Transmission Line Parameters) și SPLITS (Simulation of Power Lines, Interconnections and Terminal Stations). Programul poate genera și structurile victimă (sistemul de conducte îngropate) iar cu ajutorul modulului ROWPlot se pot realiza curbele de potențial, curentul longitudinal din conductă, curenții injectați în sol. Programul HIFREQ calculează distribuțiile curentului în rețelele de conducte îngropate sau deasupra solului iar pe baza acestor distribuții calculează câmpuri electrice, magnetice și potențiale în aer și sol pentru diverse puncte de observație. Poate lucra la frecvențe care variază de la 0 la zeci de MHz. HIFREQ poate face aceste calcule pentru conducte îngropate în mediu infinit, în sol uniform sau în sol stratificat. După calculul curenților în rețeaua de conducte, cu ajutorul unor module speciale ale acestui program se poate calcula: câmpul electric și magnetic (E_x, E_y, E_z); (H_x, H_y, H_z); potențialul electric scalar și potențialul magnetic vector (A_x, A_y, A_z); căderea de tensiune de-a lungul unei căi definite de utilizator.

Cu ajutorul programului HIFREQ se realizează o reprezentare grafică a potențialului scalar în jurul unei rețele îngropate. Programul MALT este utilizat pentru analiza rețelelor de prize de pământ ale stațiilor HVAC. Rezultatele teoretice obținute au fost tot timpul comparate cu rezultatele experimentale utilizând o scală redusă la modelele reale obținând rezultate excelente cu ajutorul programului MALT. Programul permite analiza rețelelor îngropate în prezența unor electrozi sau în cazul unui defect în zona stației, distorsionând destul de mult profilul potențialului la sol.

Metodele de abordare pentru calculul câmp electromagnetic în regim cvasistaționar magnetic din semispațiul disipativ din interiorul solului, trebuie să țină cont de următoarele aproximații:

- solul este considerat în prima fază mediu omogen și izotrop, iar suprafața pământului se consideră plană, infinit extinsă. Cu ajutorul acestor presupuneri se va realiza extinderea teoriei imaginilor electrice pentru determinarea unei imagini a conductorului (-lor) sursă situat în aer, în semispațiul disipativ (sol) introducând metoda imaginilor complexe care utilizează teoria planului complex de retur prin pământ;
- caracteristicile solului se presupun liniare;
- se va lua în calcul orice sistem de linii de înaltă tensiune aflate în imediata vecinătate a conductelor metalice subterane, inclusiv prizele de pământ din instalațiile de legare la pământ ale stâlpilor;
- analiza efectuată va conține un număr mare de parametri a căror influență asupra tensiunilor induse și a distribuțiilor de curenți va fi urmărită.

Bibliografie

- [1.1] Țopa, V., Simion, E., Munteanu, C., Micu, D.D., Ro-Flemisch Project-2000: *Development of methods and tools for analysis of the electromagnetic AC interference between high voltage transmission systems and metallic pipelines*. 2000-2003.
- [1.2] Moisil, G., *Controlul electric al coroziunii rețelelor subterane*. Editura Academiei, 1973.
- [1.3] Micu, D.D., *Metode numerice în studiul interferențelor electromagnetice* Ed. Mediamira, Cluj-Napoca, 2004.
- [1.4] Micu, D. D., Simion, E., Micu, D., Ceclan, A., Cret, L., Duma, D. *Numerical algorithm for the accurate evaluation of the induced voltages in a pipeline*. 6th International Conference on Computational Electromagnetics, Aachen, Germany, April 4-6, 2006, pp. 230-232.
- [1.5] Micu, D.D., Simion, E., Lingvay, I. *Contributions to study the perturbations of underground metallic structures with AC signals provided from the overhead power lines*. 4th International

- Conference Study and control of corrosion in the perspective of sustainable development of urban distribution grids, Sibiu, , 9-11 June, 2005., pp. 58-67.
- [1.6] Micu, D.D, Simion, E., Cret, L. *Numerical computation of the induced voltages in a pipeline using special interpolation functions*. International Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems, ELMA Sofia, Bulgaria, Sept. 15-16, 2005. pp. 327-329.
- [1.7] Micu, D.D., Micu, D. *Numerical model for the calculation of the induced voltage in an underground pipeline*. 2th International Workshop on Advances in Numerical Computation Methods in Electromagnetism ANCME Gent, Belgia, , may 10-12, 2003. pp. 179-191.
- [1.8] Micu, D.D., Simion, E., Micu, D., Cret, L. *Numerical Method For The Computation Of Currents And Voltages Induced In A Pipeline*. 5th International Conference on Electromechanical and Power Systems, Chisinau, Rep. Moldova, pp. 1021-1024, oct. 17-19, 2005.
- [1.9] Lingvay, I., Secrețeanu, N. *Coroziunea rețelelor de transport și distribuție a gazelor naturale*. Ed. ICPE, București, 2000, pp. 5-7.
- [1.10] Micu, D.D., Țopa, V., Simion, E. *Overview on formulas for the evaluation of self and mutual impedances of lines with earth return. AC cathodic protection*. 1th International Workshop on Advances in Numerical Computation Methods in Electromagnetism, Proceedings of the ANCME Conference, Gent, Belgium, June 2000. pp. 20-37.
- [1.11] Micu, D.D., Simion, E., Cret, L. *Analytical expression of induced current density using the CGRP theory*. International Conference on Electrical & Power Engineering, Iași. Buletinul Institutului Politehnic din Iasi, Tomul XLVIII (LII), Fasc. 5, November, 2002. pp. 97-102.
- [1.12] Micu, D.D., Simion, E. *Analytical expression of induced current density and power losses in conductive soil*. Fascicola Electrotehnica, Seria C, vol. 10, Baia Mare, 8-9 May 2003. pp. 45-50.
- [1.13] Micu, D.D., Micu, D., *Finite difference method for the calculation of the induced voltage in an underground pipeline*, International Conference on Engineering of Modern Electric Systems, EMES Oradea, May 29-31 2003. pp.66-70.
- [1.14] Carson, J. *Wave propagation in overhead wires with ground return*. Bell System Technical Journal, Vol. 5, April 1926, pag. 539-554.
- [1.15] Pollaczek, F. *On the field produced by an infinitely long wire carrying alternating current*. Elektrische Nachrichten Technik, vol III, 1929, pag. 339-359.
- [1.16] Sunde, E. D. *Earth Conduction Effects in Transmission Systems*. 2nd edition, Dover Publication, New York, 1968.
- [1.17] Wait, J. R. *Mutual Coupling between Grounded Circuits and the Effect of a Thin Vertical Conductor in the Earth*. IEEE Trans. on Antennas and Propagation, vol. AP-31, no. 4, 1983, pp. 640-644.
- [1.18] Kuester, E, Chang, D.C. *Modal Theory of Long Horizontal Wire Structures above the Earth*. Radio Science, no. 13, 1978, pp. 605-613.
- [1.19] Olsen, R. G., Kuester, E. F., and Chang, D. C. *Modal Theory of Long Horizontal Wire Structures above the Earth*. Radio Science, no. 13, 1978, pp. 615-623.
- [1.20] Fraiser R. et all. *Power Line-induced AC Potential on Natural Gas Pipelines for complex Rights-of-way Configurations*. Palo Alto, CA/USA: EPRI/A.G.A Project 742-2 EL-151-127.
- [1.21] Dawalibi, F. *Analysis of electrical interference from power lines to gas pipelines-Part I-Computation method*. PWRD-4, No3, July 1989, pp. 1840-1848.
- [1.22] Dawalibi, F., Southey, R. D. *Software Methods: State of the Art in Power Line/pipelines interference analysis. Joint Right-of-way use by Pipelines and Power Lines*. Proceedings of the Canadian Association Symposium, Vancouver, Canada, 1988, pp. 23-38.
- [1.23] ****CIGRE Working Group 36.02. *Guide Concerning Influence of High Voltage AC Power Systems on Metallic Pipelines*. Canada, 1995.
- [1.24] ***STAS 1275-88 - *Determinarea rezistentelor mecanice ale betonului*.
- [1.25] **** EPRI/AGA Project 742, EL-5472/PR176-520. *Power Line Fault Current Coupling to Nearby Natural Gas Pipelines*. Palo Alto, Canada, 1997, pag. 35-46.
- [1.26] Micu, D. D., E. Simion, *Theoretical overview and algorithms for solving interference problems. Overhead Power Lines – Underground Pipelines*, 5rd International Conference Study and control of corrosion in the perspective of sustainable development of urban distribution grids, Tg. Mures, 18-20 May, 2006. pp. 226-236.
- [1.27] Micu, D. D. *Influence of AC Transmission Lines on buried pipelines-Part II*. Ro-Flemisch Project-2000, Research Report – Vrije Universiteit Brussel, 2000.
- [1.28] Bortels, L., Munteanu, C., Deconinck, J., Topa, V. *A User-Friendly Simulation Software for AC Predictive and Mitigation Techniques*, 58th Annual Conference and Exposition, Corrosion NACEexpo 2003, San Diego, USA, 16-20 March 2003.

- [1.29] Micu, D.D., Chindris, M., Cziker, A. *Influence of AC transmission lines on underground pipelines*. 3rd International Conference Study and control of corrosion in the perspective of sustainable development of urban distribution grids, Petrosani, 1-3 July 2004. pp. 148-152.
- [1.30] Micu, D.D., Simion, E., Cret, L. *Distributed source approach for evaluation of the induced voltages in an underground pipeline*. International Conference on Applied and Theoretical Electricity, ICATE, Craiova, pp. 26-29, 14-15 Oct. 2004.
- [1.31] BALMORI, A., *Aves y telefonía móvil. Resultados preliminares de los efectos de las ondas electromagnéticas sobre la fauna urbana*. El ecologista, 36: 2003, pp.40-42.
- [1.32] Nageswari, K., *Biological Effects of Microwaves and Mobile Telephony* Proceedings of the International Conference on Non-Ionizing Radiation at Electromagnetic Fields and Our Health, UNITEN (ICNIR 2003), 20th – 22nd October 2003, pp.1-11.
- [1.33] Santini, R. s.a., *Survey Study of People Living in the Vicinity of Cellular Phone Base Stations*, Electromagnetic Biology and Medicine, 22: 2003, 41-49.
- [1.34] Salvatore, C., Laudani A., Mazzurco, L., *A Novel 2-D Ray Tracing Procedure for the Localization of EM Field Sources in Urban Environment*, IEEE Transaction on Magnetics, Vol. 40, No. 2, 2004.
- [1.35] Fiori, S., Faba, L., Cardelli, F., *Numerical Modeling for the Localization and the Assessment of Electromagnetic Field Sources*, IEEE Transactions On Magnetics, Vol. 39, No. 3, 2003.
- [1.36] Lingvay I., *Coroziunea provocată de curenții de dispersie „vagabonzi”*, Editura ELECTRA, București, 2005. pp. 101-226.
- [1.37] **** *Guidelines on Limits of Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields in the Frequency Range from 100 kHz to 300 GHz*, Health Physics, 54(1): (1988), pp. 115-123.
- [1.38] **** EN 12954-2001, *Cathodic Protection of Buried or Immersed Metallic Structures – General Principles and Application for Pipelines*.
- [1.39] *** STAS 833-72, *Tracțiunea electrică urbană. Prescripții pentru reducerea curenților vagabonzi*.
- [1.40] **** prEN, 50162 – 2000, *Protection Against Corrosion by Stray Current from DC Systems*.
- [1.41] ***EN 50122-2/2000, *Railway applications – Fixed Installations. Part 2: Protective Provisions Against the Effects of Stray Currents Caused by D.C. Traction Systems*.
- [1.42] *** EN 12954-2001, *Cathodic Protection of Buried or Immersed Metallic Structures – General Principles and Application for Pipelines*.
- [1.43] ***EN 12696, *Cathodic Protection of Steel in Concrete*.
- [1.44] Chen, Y., *A Fuzzy Decision System for Fault Classification Under High Levels of Uncertainty*, Transactions of the ASME -Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control, 117, (1995) pp.108-115.
- [1.45] Isoc, D., *Faults, Diagnosis, and Fault detectind structures in Complex Systems*, International Conference "Study and Control of Corrosion in the Perspective of Sustainable Development of Urban Distribution Grids", Miercurea Ciuc, Romania, june 19-21, 2003. pp. 5-12.
- [1.46] Isoc, D., Lingvay, I., *Strategy and Intelligent Diagnosis System for Built Structures*, International Conference "Study and Control of Corrosion in the Perspective of Sustainable Development of Urban Distribution Grids", Sibiu, Romania, june 9-11, 2005. pp. 142-145.
- [1.47] Homan, C., Lingvay, I. s.a. *Contributions to the Study of Corrosion of Concrete Steel Sustaining Elements from the Energy Transportation and Distribution Plants*, 4th International Conference "Study and Control of Corrosion in the Perspective of Sustainable Development of Urban Distribution Grids" Sibiu – Romania, june 9–11, 2005. pp 220-222.
- [1.48] Micu, D.D., Lingvay, I. Simion, E., *Modelarea și predicția fenomenelor de interferență în regim electrocinetic*, Ed. Electra, București, 2006.

Director contract
Prof.dr.ing. Emil SIMION