

Contract TE_253/2010

**SOLUTII DE MODELARE, PREDICȚIE ȘI PROIECTARE, CU
MAXIM DE PERFORMANȚĂ, PENTRU REDUCEREA IMPACTULUI
CURENȚILOR DE DISPERSIE ASUPRA CONDUCTELOR
METALICE SUBTERANE DE TRANSPORT GAZ**

Etapă unică / 2010

**Dezvoltarea unei metode hibride generalizate pentru determinarea
efectelor interferențelor inductive și conductive asupra conductelor
metalice subterane de transport gaz care împart același coridor de
distribuție cu o LEA**

Termen: 10.12.2010

COLECTIV DE REDACTARE

Conf. dr. ing. Dan Doru MICU – **director de proiect**

As.dr.ing Denisa ȘTEȚ

As.dr.ing. Adina RĂCĂȘAN

Drd. ing. Levente CZUMBIL

2010

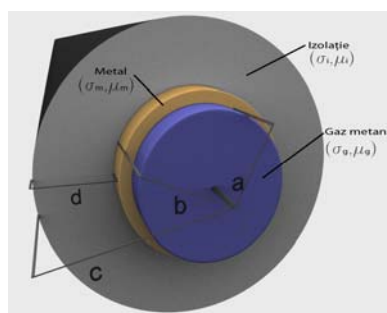
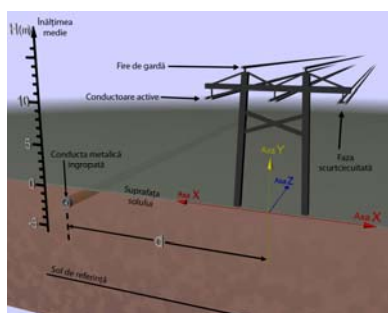
Cuprinsul raportului anual de activitate I (septembrie – decembrie 2010)

- I.1. Calcularea potențialului magnetic vector în fiecare punct al domeniului de interes (coridor comun linie de înaltă tensiune (LEA) - conductă metalică subterană (CMS)). Estimarea curenților de scurgere
- I.2. Implementarea circuitului electric echivalent al problemei. Determinarea tensiunilor induse pentru fiecare secțiune a circuitului electric echivalent. Determinarea inductivitatilor proprii și mutuale pe baza valorilor potențialului magnetic vector
- I.3. Determinarea, interpretarea și stocarea rezultatelor. Generarea rețelei de discretizare. Distribuția potențialului magnetic vector
- I.4. Concluzii
- I.5. Bibliografie

I.1. Calcularea potențialului magnetic vector în fiecare punct al domeniului de interes (coridor comun linie de înaltă tensiune (LEA) - conductă metalică subterană (CMS)). Estimarea curenților de scurgere

Configurația problemei studiate

Configurația sistemului pe care se dorește implementarea metodei hibride dezvoltate, este prezentată în Figura I.1. și constă dintr-un sistem format dintr-o LEA și o CMS care împart un traseu comun de lungime $l_p = 25$ km. Într-un punct B de pe conductorul A ($l = 30$ km distanță față de sursă), se presupune apariția unui defect monofazat. [I.1]



Caracteristicile LEA	
Tip conductoare de fază	HAWK ACSR
Valoarea sursei de tensiune	145 kV
Impedanța sursei de tensiune	$Z_s = 4 + j50 \Omega$
Caracteristicile solului	
Sol omogen	
Rezistivitate sol	500 Ωm
Caracteristicile conductei	
Raza internă	0.195 m
Raza externă	0.2 m
Grosimea izolației	0.1 m
Conductivitatea metalului	$\sigma_m = 3.522 \cdot 10^6$
Permeabilitatea relativă	$\mu_{r,m} = 250$

Figura I.1. Configurația problemei studiate. Sistemul LEA – CMS

Datorită existenței cuplajului inductiv, se induc curenți în conducta metalică și în sol, respectiv tensiuni la suprafața conductei și în sol. Prin neglijarea efectului de capăt, problema se poate considera bidimensională, conductoarele fiind infinite lungi. [I.2], [I.3], [I.4]

Dezvoltarea unei metode hibride generalizate pentru determinarea potențialului magnetic vector. Estimarea curenților de scurgere

În problemele în care intervin curenți de dispersie, unde sarcinile electrice și curenții de deplasare se neglijează, cu ajutorul ecuațiilor lui Maxwell se ajunge la relația: [I.5], [I.6]

$$\frac{1}{\mu} [\text{grad}(\text{div} \vec{A}) - \Delta \vec{A}] = \vec{J} \quad (I.1)$$

Densitatea totală de curent ($\vec{J}$) se poate scrie ca sumă de două componente:

$$\vec{J} = \vec{J}_s + \vec{J}_e \quad (I.2)$$

unde: $\vec{J}_s$ este vectorul densitate de curent al sursei iar $\vec{J}_e$ este densitatea curentului turbionar asociat potențialelor scalar și vector, după cum urmează:

$$\vec{J}_s = -\sigma \cdot \nabla \phi \cdot \vec{1}_z; \quad \vec{J}_e = -j \cdot \omega \cdot \sigma \cdot \vec{A} \quad (I.3)$$

Trebuie menționat faptul că nici $\vec{J}_s$ și nici $\vec{J}_e$ nu pot fi măsurați fizic, ei fiind introduși din considerente matematice. Doar densitatea totală de curent poate fi măsurată și prin urmare numai ea poate furniza informații relevante legate de distribuția de curent în conductoare. Pentru cazul propus spre analiză, secțiunea transversală a sistemului investigat este situată în planul $x - y$. Ca urmare, combinând ecuațiile (I.1), (I.2) și (I.3) se obține un sistem de ecuații sub formă diferențială (I.4), care descrie problema difuziei câmpului electromagnetic pentru componentele pe direcția z ale potențialului magnetic vector $\vec{A}_z$ și a vectorului densitate a curentului total $\vec{J}_z$: [I.6], [I.7]

$$\begin{cases} \frac{1}{\mu_0 \cdot \mu_r} \left[\frac{\partial^2 \bar{A}_z}{\partial^2 x^2} + \frac{\partial^2 \bar{A}_z}{\partial^2 y^2} \right] - j\omega\sigma \cdot \bar{A}_z + \bar{J}_{sz} = 0 \\ -j\omega\sigma \cdot \bar{A}_z + \bar{J}_{sz} = \bar{J}_z \\ \int_{S_i} \bar{J}_z \cdot ds = \bar{I}_i \end{cases} \quad (I.4)$$

unde $\bar{J}_{sz}$ este densitatea de curent a sursei pe direcția z iar $\bar{I}_i$ reprezintă valoarea efectivă a curentului ce trece prin conductorul i cu secțiunea transversală s_i . În aceste ecuații, $\bar{A}_z$ și $\bar{J}_z$ sunt necunoscute, iar termenul $\bar{J}$ este specificat sub formă integrală:

$$\int_{S_k} \bar{J} \cdot ds = I_k \quad (I.5)$$

unde: I_k este curentul care circulă prin conductorul c_k al secțiunii transversale s_k , $k = 1, \dots, N$.

Prin integrarea PMV, de-a lungul secțiunii transversale a fiecărui conductor, se obține ecuația matricială:

$$\bar{A} = \sum_{k=1}^N c_k \cdot \bar{A}_k \quad (I.6)$$

Conform [I.10], coeficienții c_k sunt identici cu densitățile de curent ale sursei $\bar{J}_k$ în fiecare conductor:

$$c_k = \bar{J}_k \quad k = 1, \dots, N \quad (I.7)$$

Utilizând calculul matricial, se determină potențialul magnetic vector, în fiecare nod al rețelei de discretizare. Prin urmare, pentru un element oarecare e , densitatea curentului de dispersie $\bar{J}_{ez}^e$ se determină pe baza relației:

$$\bar{J}_{ez}^e(x, y) = -j\omega\sigma \cdot \bar{A}_{ez}^e(x, y) \quad (I.8)$$

Densitatea curentului total pentru elementul e , notată cu $\bar{J}_z^e$, care reprezintă suma densităților de curent a sursei pentru conductorul i ($\bar{J}_{szi}$) și al densității curentului de dispersie pentru elementul e , se obține cu relația: [I.8]

$$\bar{J}_z^e(x, y) = \bar{J}_{ez}^e(x, y) + \bar{J}_{szi} \quad (I.9)$$

Prin integrarea relației (I.9) pe secțiunea transversală a unui conductor, se obține curentul total care parcurge acest conductor. Pentru determinarea potențialului magnetic vector $\bar{A}_z$ respectiv a densității de curent $\bar{J}_{sz}$, cu ajutorul relațiilor precedente, se va dezvolta și implementa o metoda hibridă generalizată (Metoda Elementului Finit+Circuite Electrice Echivalente), care constă în partiționarea (discretizarea) domeniului de studiu în subdomenii disjuncte (de dimensiuni finite), specificarea funcțiilor triale pe fiecare element în parte, implementarea circuitului electric echivalent și rezolvarea sistemului de ecuații corespunzător acestui circuit echivalent. [I.9], [I.10]

Conform acestei metode, funcțiile necunoscute $\bar{A}_z$ și $\bar{J}_{sz}$ vor fi approximate cu ajutorul polinoamelor locale de interpolare (denumite și funcții de formă) α_i și β_i , ajungându-se la relația care exprimă potențialul magnetic vector în orice punct de coordonate (x, y) , cu condiția ca potențialul magnetic vector în noduri să fie cunoscut:

$$\bar{A}_z^{(e)} = \begin{bmatrix} 1 & x & y \end{bmatrix} \cdot \frac{1}{2\Delta^{(e)}} \begin{bmatrix} (x_2 \cdot y_3 - x_3 \cdot y_2) & (x_3 \cdot y_1 - x_1 \cdot y_3) & (x_1 \cdot y_2 - x_2 \cdot y_1) \\ (y_2 - y_3) & (y_3 - y_1) & (y_1 - y_2) \\ (x_3 - x_2) & (x_1 - x_3) & (x_2 - x_1) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \bar{A}_{z1}^{(e)} \\ \bar{A}_{z2}^{(e)} \\ \bar{A}_{z3}^{(e)} \end{bmatrix} \quad (I.10)$$

$\Delta^{(e)}$ este aria elementului e : $\Delta^{(e)} = \frac{1}{2}[(x_2 - x_1)(y_3 - y_1) + (x_3 - x_1)(y_2 - y_1)]$.

Prin aplicarea metodei Galerkin, sistemul de ecuații (I.4) se poate scrie sub formă matricială permițând reprezentarea corespunzătoare a întregului domeniu al câmpului electromagnetic prin asamblarea domeniului tuturor elementelor finite definite prin relațiile prezentate în literatura de specialitate [I.10]; ca urmare într-o problemă cu N elemente finite se va ajunge la relația globală:

$$\begin{bmatrix} \left(\frac{1}{\mu} S + j\omega\sigma \cdot T \right) & -j\omega\sigma \cdot Q^T \\ -j\omega\sigma \cdot Q & j\omega\sigma \cdot \Omega \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \bar{A}_{\sim z} \\ \bar{g}_{\sim sk} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \bar{I}_{\sim} \end{bmatrix} \quad (I.11)$$

unde matricea Q are n coloane, coloana k conținând coeficienții Newton-Cotes q pentru elementul k , Ω reprezintă aria suprafeței elementului finit iar S este matricea globală a coeficienților. [I.11]

Formularea numerică a problemei, în această manieră, duce la o ecuație matricială complexă, unde pe lângă potențialul magnetic vector se introduc și necunoscutele $\bar{g}_{sk}$ pentru fiecare element sau grup de elemente prin care se specifică curentul total. Numeric, rezolvarea ecuației matriciale s-a făcut cu ajutorul utilitarului Mathcad, folosindu-se metoda aproximațiilor succesive Jacobi. [I.9]

1.2. Implementarea circuitului electric echivalent al problemei. Determinarea tensiunilor induse pentru fiecare secțiune a circuitului electric echivalent. Determinarea inductivităților proprii și mutuale pe baza valorilor potențialului magnetic vector.

Geometria propusă pentru a fi studiată s-a modelat printr-un circuit electric echivalent [I.14], [I.15] conform Figurii I.2. Conducta metalică subterană $E_1, E_2, \dots, E_N$ străbate un traseu paralel cu conductorul de fază A considerat cu defect, pe o distanță totală l_p . Conducta este legată la pământ prin rezistențele notate cu R_T , numite rezistențe de capăt, în vreme ce $R_1, R_2, \dots, R_N$ reprezintă rezistențele ce caracterizează zonele cu defect ale izolației. Rezistențele de scurgere se admit localizate la o distanță suficient de mare una față de cealaltă.

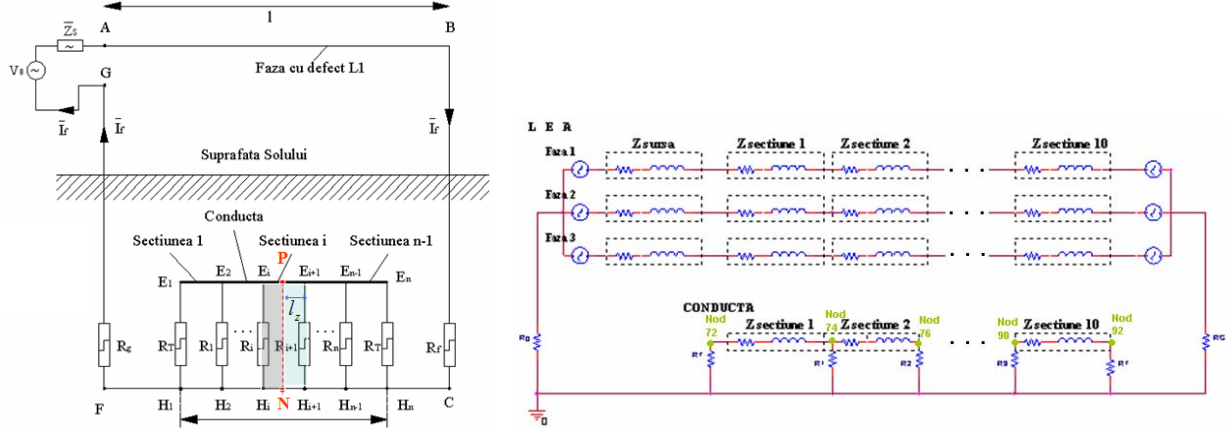


Figura I.2. a. Schematizarea sistemului studiat

b. Implementarea Pspice a circuitului electric echivalent al sistemului studiat

Contribuția curenților din celelalte secțiuni ale conductei, la apariția fluxului ϕ_1 , se neglijează, deoarece se consideră rezistențele de scurgere situate la mare distanță una de cealaltă. În plus, într-un câmp bidimensional, acest flux este dat în planul (x, y) de relația:

$$\phi_1 = A_{zp} \cdot I_1 \quad (I.12)$$

unde A_{zp} este componenta pe direcția z a potențialului magnetic vector la suprafața conductei, iar I_1 este lungimea primei secțiuni. Pentru circuitul echivalent se poate scrie relația:

$$I_{p1}(R_1 + R_T + \frac{l_1}{\sigma_p s_p}) - I_{p2} \cdot R_1 + j\omega(L_{11} \cdot I_{p1} + L_{F1} \cdot I_F) = 0 \quad (I.13)$$

unde σ_p și s_p sunt conductivitatea respectiv secțiunea transversală a conductei metalice.

Urmând același procedeu, o relație similară ecuației (I.13) poate fi scrisă pentru fiecare din cele $(N-1)$ ochiuri de circuit, rezultând astfel un sistem de $(N-1)$ ecuații. Ca urmare, pentru ochiul de circuit i se ajunge la relația:

$$I_{pi}(R_i + R_{i+1} + \frac{l_i}{\sigma_p s_p}) - I_{pi-1} \cdot R_i - I_{pi+1} \cdot R_{i+1} + j\omega(L_{ii} \cdot I_{pi} + L_{Fi} \cdot I_F) = 0, \quad i = 2 \dots N-1 \quad (I.14)$$

Aplicând legea inducției electromagnetice, pe ochiul de rețea ABCFGA, se ajunge la o relație care permite determinarea valorii tensiunii de fază U_0 :

$$U_0 = I_F(R_G + R_F + Z_S) + \frac{I_F \cdot l}{\sigma \cdot s} + j\omega \sum_{i=1}^{n+1} (L_{FF} \cdot I_F + L_{Fi} \cdot I_{pi}) \quad (I.15)$$

în care primul termen din membrul drept al ecuației, este căderea de tensiune pe elementele R_G , R_F , Z_S , iar σ , s și L_{FF} sunt conductivitatea, secțiunea transversală și inductivitatea proprie a conductorului de fază. [I.12], [I.13]

Expresiile (I.12) - (I.15) formează un sistem de ecuații care poate fi rezolvat dacă se cunosc impedanțele proprii și mutuale. Rezolvarea numerică a sistemului ecuațiilor de funcționare a circuitului echivalent s-a realizat prin metoda Gauss-Seidel, ținându-se cont de caracterul rău conditionat al matricii impedanțelor. Rezultatele au fost stocate într-o bază de date. [I.8], [I.9]

Dacă se impune o anumită valoare de bază a curentului de defect prin conductorul de fază, de exemplu $I_{Fb} = 1000A$, simultan cu un curent zero prin conductă, se calculează PMV la suprafața conductei, care apoi va fi utilizat pentru determinarea inductivității mutuale L_{Fi} ; prin urmare expresiile inductivităților vor fi: [I.5]

$$L_{F1} = \frac{A_{zp} \cdot l_1}{I_{Fb}}; \quad L'_{Fi} = \frac{A_{zp} \cdot l_i}{I_{Fb}}; \quad L_{FF} = \frac{A_z \cdot l}{I_{Fb}} \quad (I.16)$$

Pentru a calcula inductivitatea proprie, L_{ii} ($i=1...N$) a secțiunilor conductei, se parcurge același procedeu, cu excepția că, de această dată se impune un curent de defect de valoare zero, pe conductorul de fază respectiv un curent de bază prin conductă $I_{p1} = 1A$. Astfel se ajunge la o relație care permite calcularea inductivității proprii, pe unitatea de lungime, a primei secțiuni a conductei:

$$L'_{11} = \frac{A_{zP}}{I_{Pb1}} \quad (I.17)$$

Presupunând că geometria problemei și proprietățile magnetice ale conductei precum și a conductorului de fază A rămân constante, inductivitățile proprii și inductivitățile mutuale, pe unitatea de lungime, a tuturor secțiunilor, se consideră egale, deci:

$$L'_{11} = L'_{22} = \dots = L'_{ii} = \dots = L'_{nn}; \quad L'_{F1} = L'_{F2} = \dots = L'_{Fi} = \dots = L'_{nn} \quad (I.18)$$

Pentru a calcula tensiunea dintre un punct de pe conductă și solul de referință, se consideră un punct P pe secțiunea i a conductei, conform Figurii I.2.a., care se găsește la distanța l_z față de punctul E_{i+1} . Aplicând legea inducției electromagnetice pe ochiurile de circuit $PE_{i+1}H_{i+1}NP$ și $H_iH_{i+1}E_{i+1}E_iH_i$, se obține relația de calcul a tensiunii dintre punctul P și solul de referință N:

$$U_{PN} = \frac{I_{Pi}[l_z(R_i + R_{i+1}) - R_i l_1] + I_{P(i+1)}R_{i+1}(l_1 - l_z) - I_{P(i-1)}R_i l_z}{l_i} \quad (I.19)$$

Relația (I.19) este valabilă pentru secțiunile $2...N-2$ ale conductei. Pentru prima și ultima secțiune relațiile sunt:

$$U_{P_1N_1} = \frac{I_1[l_z(R_1 - R_T) - l_1 R_1] + I_2 R_1(l_1 - l_z)}{l_1}; \quad U_{P_{N-1}N_{N-1}} = \frac{I_{N-1}[l_{N-1}R_T + l_z(R_T - R_{N-2})] + I_{N-2}R_{N-2}l_z}{l_{N-1}} \quad (I.20)$$

I.3. Determinarea, interpretarea și stocarea rezultatelor. Generarea rețelei de discretizare. Distribuția potențialului magnetic vector

Rețeaua de discretizare a geometriei studiate este prezentată în Figura I.3., și s-a generat cu ajutorul metodei elementului finit, prin intermediul programului FEMM 4.2.

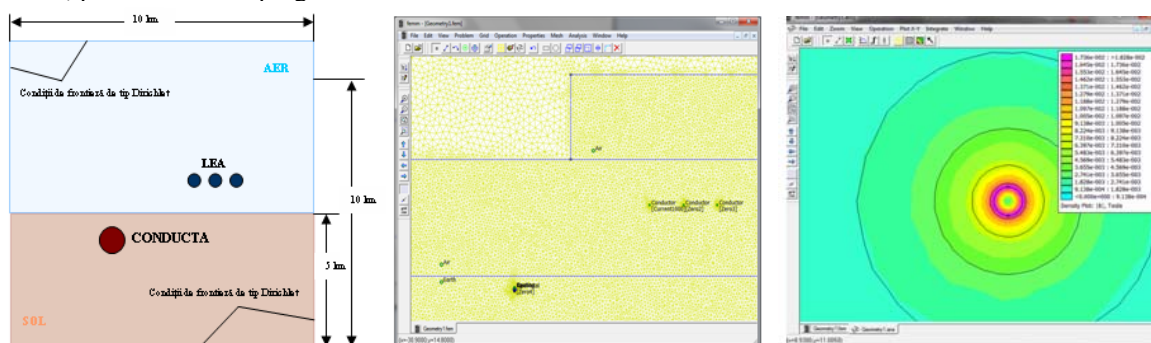


Figura I.3 a. Domeniul de soluții FEM

b. Rețeaua de discretizare

c. Distribuția PMV în jurul conductei

Se consideră un pătrat cu latura de 10 km ca fiind domeniul de interes al problemei iar condițiile de frontieră impuse sunt de tip Dirichlet nule (Figura I.3.a). S-a obținut o rețea de discretizare de aproximativ 25000 de elemente (Figura I.3.b). Se trece apoi la determinarea valorilor potențialului magnetic vector, în jurul conductei metalice (Figura I.3.c).

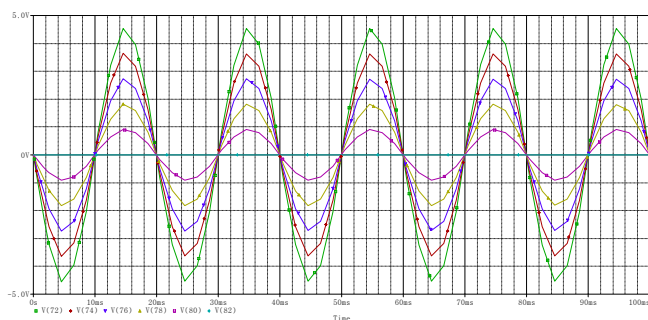
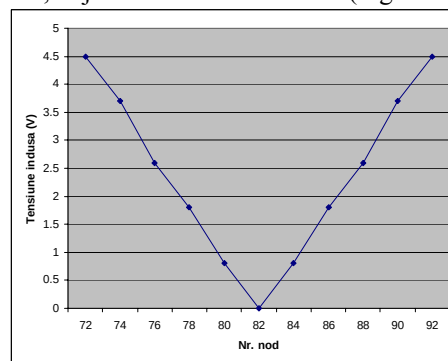


Figura I.4.a. Tensiuni induse în conductă

(condiții normale de funcționare ale LEA)



b. Tensiuni induse pe toată lungimea conductei

S-au reprezentat grafic, în programul PSpice, potențialele nodurilor de la capetele fiecărei secțiuni, obținându-se astfel variația în timp a tensiunilor induse în conductă metalică (Figura I.4.a). Conform acestei reprezentări grafice, tensiunile

induse sunt semnale sinusoidale, a căror amplitudine maximă nu depășește (în condiții normale de funcționare ale LEA) valoarea de 5V. Astfel, conform specificațiilor tehnice prCEN/TS 15280 elaborate de CEN (Comitetul European de Standardizare), aceste tensiuni nu prezintă pericol de coroziune asupra conductei (valoarea maximă admisibilă fiind de 10V, pentru rezistivități ale solului mai mari de 25 Ω m). Repartiția acestor tensiuni de-a lungul conductei, este prezentată în (Figura I.4.b). Valorile maxime ale tensiunilor induse se înregistrează la capetele conductei, în timp ce valoarea de minim este situată la mijlocul coridorului comun, fiind în acord cu specificațiile tehnice din [I.13], [I.14]. Valorile curenților prin fiecare secțiune, se încadrează în intervalul 0.9-1.8 A (Figura I.5.a) și înregistrează valori maxime în secțiunile de la mijlocul coridorului comun (Figura I.5.b) fiind în acord cu specificațiile tehnice din [I.13].

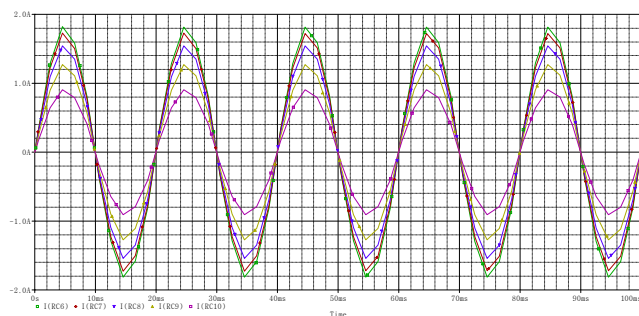
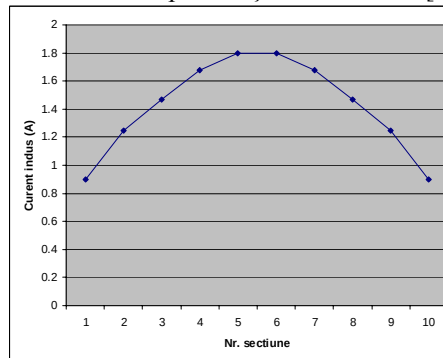


Figura I.5.a. Curenții care circulă prin secțiunile conductei (condiții normale de funcționare ale LEA)



b. Curenții induși pe toată lungimea conductei (condiții normale de funcționare ale LEA)

S-a considerat un defect monofazat al LEA prin impunerea unui curent de 2000A pe una dintre faze. Valorile potențialelor, în nodurile considerate de-a lungul conductei, au crescut considerabil (Figura I.6.a) ceea ce înseamnă, pentru structura metalică, un pericol de apariție a fenomenului de coroziune. Repartiția pe toată lungimea conductei, a potențialelor înregistrate în condiții de defect monofazat, este similară cu cea obținută în cazul unei funcționări normale a acesteia, cu observația că valorile maxime înregistrate sunt considerabil mai mari decât în primul caz (Figura I.6.b).

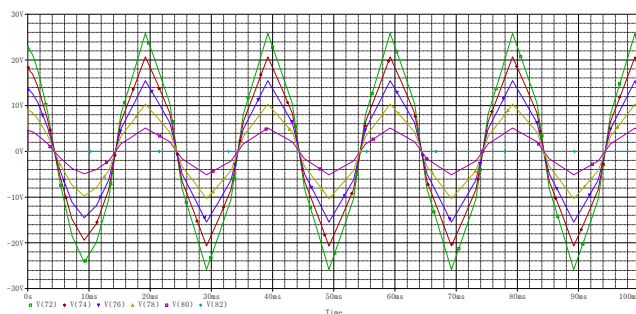
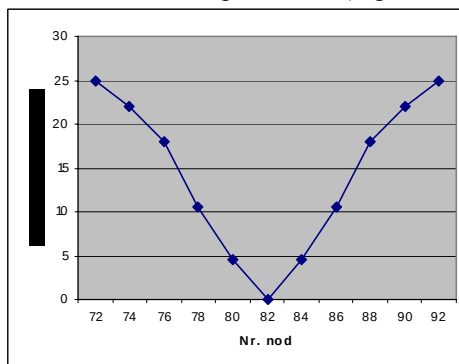


Figura I.6. a. Potențialele înregistrate în nodurile definite în prima jumătate a conductei (defect monofazat al LEA)



b. Tensiuni induse pe toată lungimea conductei (defect monofazat al LEA)

Situația este similară și în cazul curenților prin fiecare secțiune considerată a conductei (Figura I.7.a.); valorile maxime înregistrate sunt de asemenea considerabil mai mari decât în primul caz și ele se înregistrează la mijlocul distanței coridorului comun de distribuție LEA-CMS, (Figura I.7.b.).

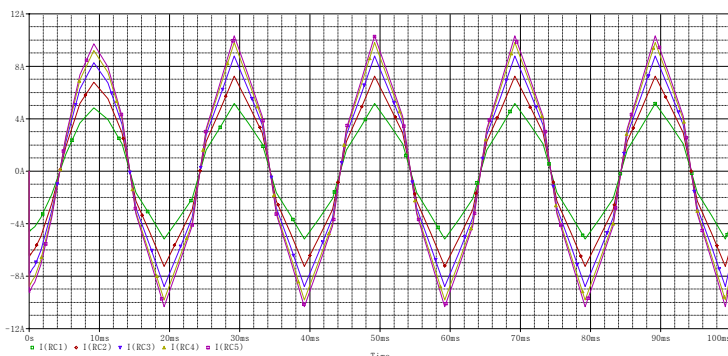
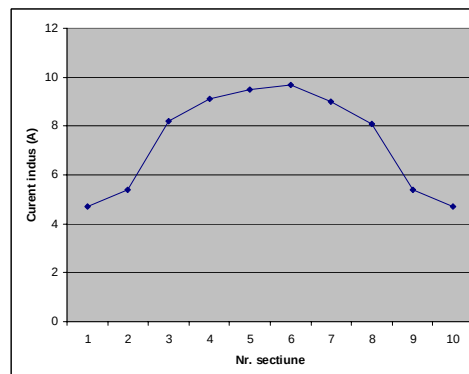


Figura I.7.a. Curenții care circulă prin secțiunile conductei (defect monofazat al LEA)



b. Curenții induși, pe toată lungimea conductei (defect monofazat al LEA)

Datorită faptului că softwarul de generare a circuitului electric echivalent permite modificarea parametrilor circuitului, este posibilă și analiza variației tensiunilor sau a curenților induși în funcție de variațiile valorilor

inductivităților mutuale, a rezistențelor de scurgere, a rezistivității solului, etc. Datorită neomogenității de material care pot să apară la nivelul conductoarelor de fază sau a conductei, apare variația inductivităților mutuale dintre conductoarele de fază și conductă, determinând modificări ale valorilor tensiunilor induse în structura metalică.

Astfel, o modificare a coeficientului de cuplaj mutual K , ceea ce reprezintă modificări ale geometriei sau proprietăților de material, conduce la o variație importantă a valorilor tensiunilor și curenților induși în structura metalică, după cum este ilustrat în Figura I.8.

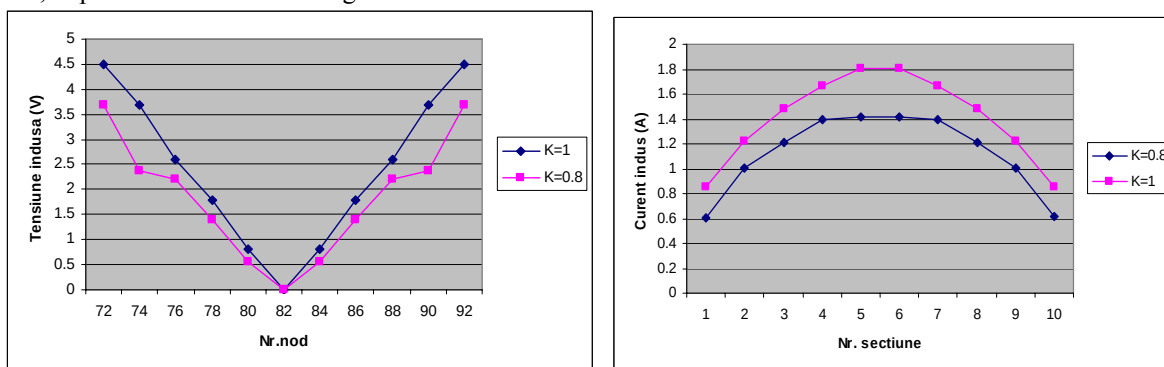


Figura I.8. Variația tensiunii și curentului indus pentru $K = 1$ și $K = 0.8$

O scădere a coeficientului K de la 1 la 0.8, duce la o scădere a valorilor tensiunilor induse de aproximativ 20% respectiv de aproximativ 70% în cazul curenților induși.

Pentru analizele anterioare s-a considerat conducta ca fiind omogenă, caracterizată de aceeași impedanță pe fiecare segment de studiu. Dacă pe suprafața conductei apar defecte prin degradare a izolației, ca urmare a unor factori mecanici sau electrochimici, coeficientul K nu are aceeași valoare pe fiecare segment, ceea ce duce la o modificare a repartiției tensiunilor induse în structura metalică. În Figura I.9 sunt reprezentate grafic valorilor tensiunilor și curenților induși în conductă, pentru situația în care K variază aproximativ 20% față de un K luat ca referință ($K = 0.8$).

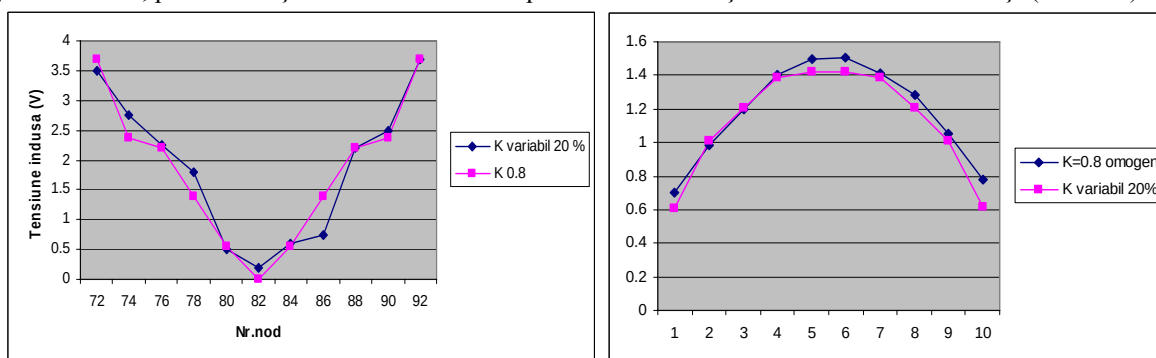


Figura I.9. Variația tensiunii și curentului indus pentru $K = 0.8$ și K variabil (20%)

Considerând o conductă bine izolată (valori ale curenților induși cât mai mici) implică existența unor curenți de valori scăzute care circulă prin rezistențele de scurgere. Acest lucru se verifică în cadrul modelului propus. Pentru valori de 10Ω ale rezistențelor de scurgere, se înregistrează valori de până la 350 mA a curenților prin aceste rezistențe, iar pentru valori de 1000Ω respectiv 10000Ω (ceea ce înseamnă o izolație bună a conductei) valorile acestora scad semnificativ (Figura I.10.a).

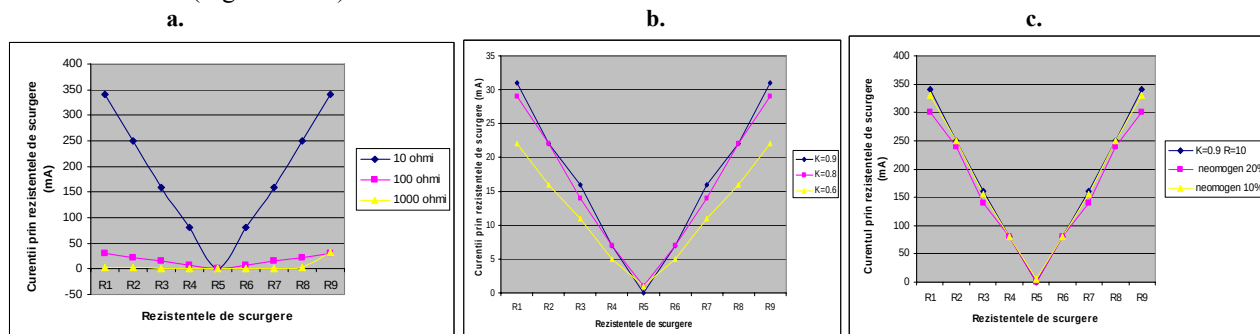


Figura I.10. Variația curenților prin rezistențele de scurgere

De asemenea, variația coeficientului K reprezintă un factor care modifică valoarea curenților prin rezistențele de scurgere, curenții care părăsesc suprafața metalică fiind cei care produc degradarea materialului. Ca urmare, cu cât valorile acestora sunt mai mici, cu atât pericolul de degradare prin coroziune scade. Figurile I.10.b.c ilustrează valorile

curenților pentru coeficienți de cuplaj de 0.6, 0.8 respectiv 0.9 și o rezistență de scurgere de $10\ \Omega$, pentru o conductă omogenă (b.) și neomogenă (c.)

Toate rezultatele obținute prin implementare metodei hibride, s-au stocat într-o bază de date (format rtf.) care va putea fi utilizată ulterior pentru implementarea soluțiilor alternative de rezolvare a problemelor de interferență prin intermediul tehnicilor de inteligență artificială. [I.8]

I.4. Concluzii

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 în ceea ce privește structurile metalice care funcționează în medii electrolitice. Dezvoltarea și implementarea acestor metode, instrumente și informații va asigura integritatea în ansamblu a structurilor metalice expuse coroziunii electrochimice, în special a instalațiilor tehnologice subterane.

În acest raport anual de cercetare s-a urmărit dezvoltarea unei metode hibride de calcul pentru rezolvarea problemelor complexe de interferențe dintre liniile electrice aeriene și conductele metalice subterane, care împart un coridor comun de distribuție. Metoda, pe care s-a construit algoritmul utilizat pentru determinarea tensiunilor induse în conducta metalică subterană, constă în principal, în divizarea spațiului de studiu al interferenței în secțiuni, în care să se utilizeze exclusiv metode cuplate, bazate pe teoria câmpului și teoria circuitelor. Toate zonele unde s-au aplicat metode bazate pe teoria câmpului sunt transformate în zone echivalente realizate din elemente de circuit. Această metodă presupune că interacțiunile între diferite zone sunt neglijate sau sunt reprezentate prin conexiuni de circuite.

S-a realizat:

- Calcularea potențialului magnetic vector în fiecare punct al domeniului de interes (coridor comun LEA-CMS)
- Determinarea inductivităților proprii și mutuale pe baza valorilor potențialului magnetic vector
- Implementarea și rezolvarea circuitului electric echivalent care modelează problema de interferență
- Determinarea tensiunilor și curenților induși
- Stocarea rezultatelor, obținute prin metoda hibridă, într-o bază de date

I.5. Bibliografie

- [I.1]. Dan D. Micu, A. Ceclan, Laura Darabant, Denisa Stet, *Analytical and Numerical Development of the Electromagnetic Interference Between a High-Voltage Power Line and an Underground structures*, 6th International Symposium on Advanced Electromechanical Motion Systems, 2009, July 1-3, 2009, Lille, France, ISBN: 978-2-915913-25-5, EAN: 9782915913255.
- [I.2]. Li, Y. et al. *Electromagnetic Interference Caused by a Power System Network and a Neighboring Pipeline*, 62nd Annual Meeting of the American Power Conference, Chicago, April 10-12, 2000, pag. 311-316.
- [I.3]. Haubrich, H., Flechner, B., Machcynski, W. *An Universal Model For the computation of the Electromagnetic Interference on Earth Return Circuits*. IEEE PWDR, Vol.9, No. 3, July 1994.
- [I.4]. Southey, R. et al. *On the Mechanisms of Electromagnetic Interference between Electrical Power Systems and Neighboring Pipelines*. NACE 2000 T10B Symposium on DC & AC Interference, Orlando, March 26-31, 2000.
- [I.5]. K.J. Satsios, D.P. Labridis: *Finite Element Calculations and Fuzzy Logic Development*. IEEE Transaction on Magnetics, Vol. 35, No. 1, Jan 1999.
- [I.6]. Dan D. Micu, Iosif Lingvay, Emil Simion, *Modelarea și predicția fenomenelor de interferență în regim electrocinetic*, Editura ELECTRA, București, ISBN 978-973-77728-73-9, 2006.
- [I.7]. Dan D. Micu, Radu Munteanu jr., Georgios Christoforidis, B. Manea, A. Ceclan, *Original Approaches for Solving Electromagnetic Interference Problems*, Advances in Electrical and Computer Engineering, ISI Journal, No 2-2009, pp. 82-90, ISSN: 1582-7445; e-ISSN: 1844-7600; doi: 10.4316/aece.
- [I.8]. Dan D. Micu, Czumbil L., Christoforidis G., Ceclan A., *Proposed Monte Carlo – Neural Network method for solving Electromagnetic Interference Problems*, 45th International Universities Power Engineering Conference, UPEC 2010, Cardiff, IEEEExplore, 1 sept. - 3 September 2010, Proceedings on CD, ISBN 978-0-9565570-1-8
- [I.9]. J. Epperson, *An introduction to numerical methods and analysis*, John Wiley INC., New York, 2002
- [I.10]. Salazar – Palma, M., Sarkar, T. *Iterative and Self Adaptive Finite-Elements in Electromagnetic Modeling*. AEtech House, London, ch. 1, 5, 1998
- [I.11]. Lucca, G., Zucchelli, L. *Electromagnetic interference produced on a complex metallic pipeline network by a fault in a power substation*. CIGRE, Paris 2002, 36-01.
- [I.12]. Dan D. Micu, I. Lingvay, C. Lingvay, L. Darabant, A. Ceclan, *Numerical evaluation of induced voltages in the metallic underground pipelines*, Revue Roumaine des Sciences Techniques serie Électrotechnique et Énergetique, ISI Journal, Tome 54, 2009, Issue: 2, ISSN 0035-4066, pp.175-184.
- [I.13]. ***CIGRE WG.36.02. *Guide Concerning Influence of High Voltage AC Power Systems on Metallic Pipelines*, 1995.
- [I.14]. Dawalibi, F. *Analysis of electrical interference from power lines to gas pipelines-Part II-Parametric analysis*. PWRD-5, No1, Jan 1990, pag. 415-421.
- [I.15]. Franz, J., Monssen, *OrCAD Pspice with Circuit Analysis*, Ed. Prentice Hall, Columbus, Ohio, 2001, ISBN 0.13.017035-6.