

UNIVERSITATEA TEHNICĂ DIN CLUJ-NAPOCA

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**

Etapa unică / 2012

**Dezvoltarea unor soluții tehnice pentru diminuarea fenomenelor de coroziune în
mediul electromagnetic prin atenuarea tensiunilor induse în conductele de gaz care
împarte același coridor de distribuție cu o linie electrică aeriană**

Data predării: 10.12.2012

COLECTIV CERCETARE

*Conf. dr. ing. mat. Dan Doru MICU – **Director de proiect***

Ș.l. dr. ing. Denisa ȘTET

Ș.l. dr. ing. Adina RĂCĂȘAN

Drd. ing. Levente CZUMBIL

Dezvoltarea unor metode de localizare și cuantificare a vârfurilor tensiunilor induse în conductele metalice care împart același coridor de distribuție cu o linie electrică aeriană

Circuitul electric echivalent aferent problemelor de interferență electromagnetică LEA-CM. Pentru a evalua nivelul tensiunilor și curenților induși în conductele metalice supra sau subterane, care împart același coridor de distribuție cu o LEA IT, se propune abordarea problemei lor de interferență electromagnetică LEA-CM din perspectiva unui model de circuit electric echivalent.

Modelele similare de circuit electric echivalent LEA-CM prezentate în literatura de specialitate, [1-11] fie analizează doar cuplajul inductiv dintre LEA IT și CM subterane, fie abordează separat problematica cuplajelor inductive și capacitive dintre LEA IT și CM supraaterane, suprapunând efectele celor două cuplaje.

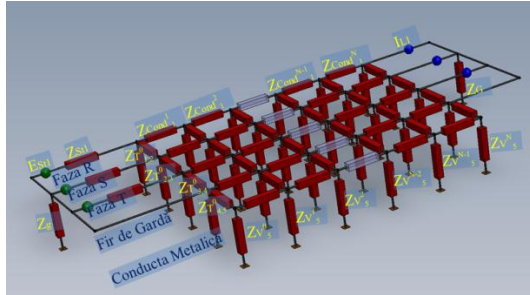


Fig. 1: Modelul de circuit electric echivalent LEA-CM

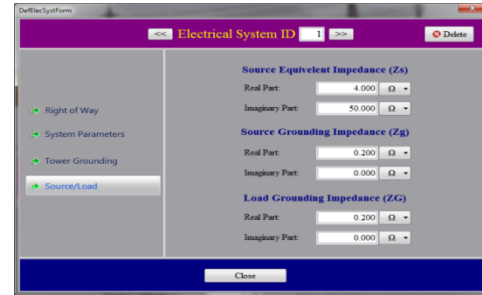


Fig. 2: Fereastra de definire a parametrilor electrici echivalenți

Spre deosebire de aceste modele, circuitul electric echivalent propus (fig. 1) permite analiza simultană a tensiunilor induse datorate celor două cuplaje atât în condiții de funcționare normală a LEA, cât și în condiții de defect, în situația în care defectul apare mult în afara coridorului comun de distribuție (punere la pământ a unei faze, scurtcircuit în stații, lovituri de trăsnet). Pentru a spori precizia de calcul a tensiunilor și curenților induși în CM expusă mecanismelor de cuplaj inductiv și capacitiv cu LEA, obținute în urma rezolvării modelului de circuit electric echivalent, coridorul comun de distribuție a fost împărțit în N secțiuni. [12-15]

În vederea determinării modelului de circuit electric echivalent este necesară introducerea în programul *InterfStud* a unor parametri electrici corespunzători unei secțiuni k a coridorului comun LEA-CM (fig. 2). Pe baza parametrilor geometrice și electrice care descriu problema de interferență electromagnetică, respectiv matricele de inductanțe și capacități ce descriu cuplajele inductive și capacitive, programul dezvoltat, *InterfStud*, generează și rezolvă automat, utilizând un algoritm specializat, modelul de circuit electric echivalent pentru un număr nelimitat de LEA în paralel cu CM supra sau subterane.

Rezolvarea modelului de circuit electric echivalent. În vederea evaluării tensiunilor induse este necesară soluționarea modelului de circuit electric echivalent prezentat în fig. 2 determinându-se valoarea curenților induși în fiecare secțiune a CM. Pentru rezolvarea acestui model de circuit electric echivalent s-a dezvoltat și implementat în cadrul programului *InterfStud* un algoritm recursiv specializat.

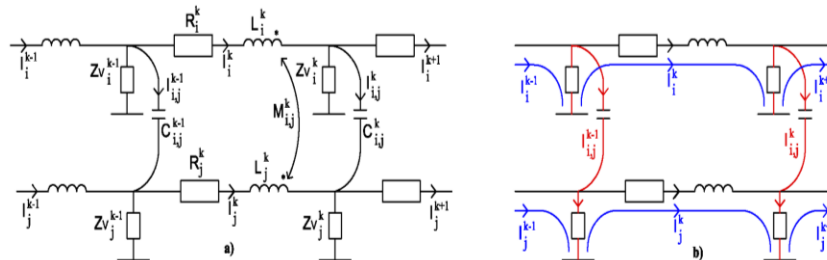


Fig. 3: a) Cuplajul inductiv și capacitiv dintre două conductoare; b) Curenții ciclici longitudinali și transversali dintre două conductoare

Considerând cuplajul inductiv și capacitiv dintre două conductoare oarecare i și j pentru o secțiune k a coridorului comun de distribuție (fig. 3a), sistemul de ecuații aferent curenților ciclici longitudinali și respectiv transversali (fig. 3b) poate fi scris sub forma matricială pentru un număr nedefinit de conductoare (structuri metalice) conectate între ele prin cuplaj inductiv și/sau capacitiv. Relația generalizată de recurență a curenților ciclici longitudinali din secțiunea k în corelație cu valoarea acestora în secțiunea $k+1$ este:

$$[I]^k = [A]^k + [B]^k \cdot [I]^{k+1} \quad (1)$$

unde:

$$[A]^k = ([S_z]^k - [R_z]^k \cdot [B]^{k-1})^{-1} \cdot ([E]^k + [R_z]^k \cdot [A]^{k-1}), \quad [B]^k = ([S_z]^k - [R_z]^k \cdot [B]^{k-1})^{-1} \cdot [T_z]^k \quad (2)$$

În vederea obținerii încărcării în putere aparentă tranzitată a fazelor LEA, spre deosebire de modelele similare de circuit electric echivalent existente în literatura de specialitate [8-10] în care se utilizau impedanțe de încărcare, Z_L (a se vedea fig. 4a), se propune introducerea unor surse echivalente de curent, I_L , în secțiunile „finale”, $N+1$, a conductoarelor de fază (fig. 4b):

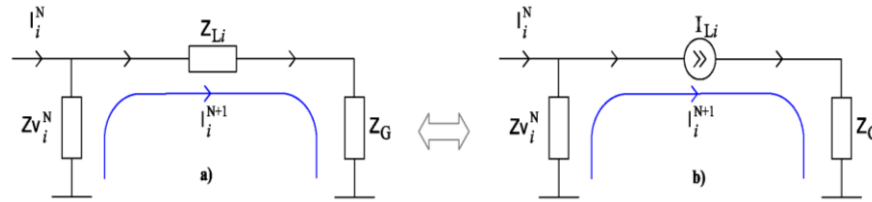


Fig. 4: Secțiunea N+1 a unui conductor de fază a LEA: a) impedanță de încărcare, b) sursă de curent

Astfel aplicând relația (1) ultimei secțiuni a coridorului comun, N, se determină valoarea curenților ciclici din această secțiune în corelație cu valorile surselor de curent impuse în secțiunea N+1:

$$[I]^N = [A]^N + [B]^N \cdot [I_L] \quad (3)$$

Pentru a determina valoarea tensiunii, respectiv a curentului indus în conducta metalică în orice punct de-a lungul coridorului comun de distribuție LEA-CM, programul *InterfStud* recurge la utilizarea unor tehnici de interpolare aplicate asupra datelor obținute în urma rezolvării modelului de circuit electric echivalent. [15-20]

Pentru a testa acuratețea rezultatelor furnizate de programul software dezvoltat, *InterfStud*, în paragrafele următoare s-au implementat o serie de geometrii LEA-CM valorile tensiunilor induse obținute comparându-se cu soluțiile furnizate prin implementarea într-un pachet software comercial (CDEGS).

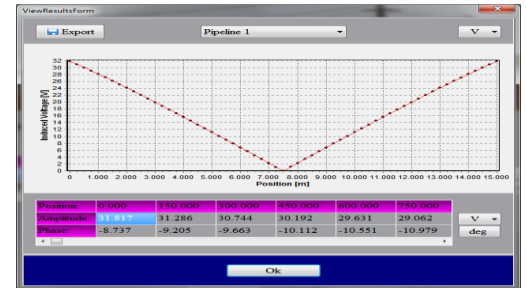


Fig. 5: Tensiunile induse evaluate cu *InterfStud*

Studiul eficacității metodei propuse pentru diferite geometrii și diverse condiții de sarcină ale LEA Proiectarea optimă a traseului comun LEA – CM pentru atenuarea tensiunilor induse

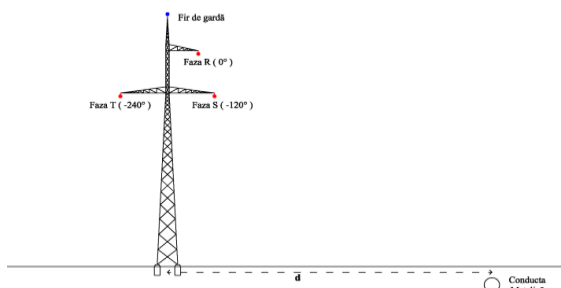


Fig. 6: Coridorul comun de distribuție LEA – CM subterană

Descrierea problemei de interferență electromagnetică investigate. În scopul validării, respectiv a determinării preciziei soluțiilor furnizate de metodele de localizare și cuantificare a vârfurilor tensiunilor induse în conducte se implementează în softul dezvoltat (*Interfstud*) o problema de interferență electromagnetică dintre o conductă metalică subterană de transport gaz metan (CM) care împarte pe o distanță de 10 km același coridor de distribuție cu o linie electrică aeriană (LEA) de 110kV/50Hz (fig. 6.)

În urma rulării în programul FEMM v4.2 a fișierului de cod LUA generat de programul *InterfStud* se obține matricea de inductivități. Pe baza acestora și utilizând parametrii geometrici și electrici a conductoarelor din cadrul problemei descrise (conductoare de fază, fir de gardă, conductă),

programul *InterfStud* dezvoltă și rezolvă modelul de circuit electric echivalent, aferent problemei, în cazul unei încărcări simetrice de 350 A a conductoarelor de fază a LEA. [14, 17]

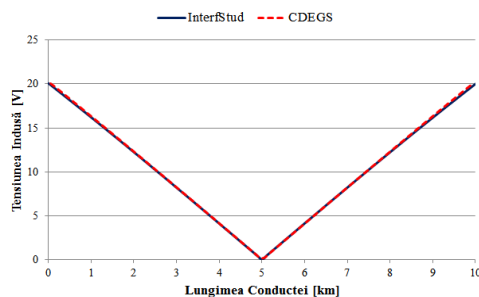
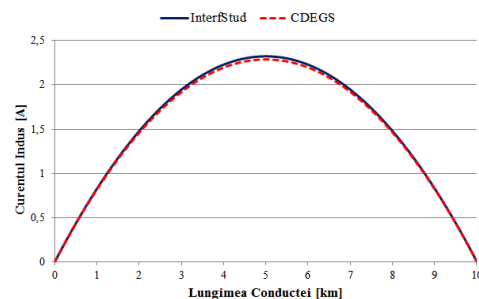


Fig. 7: Tensiunea, respectiv curentul indus de-a lungul conductei metalice



Rezultatele obținute din programul dezvoltat sunt comparate cu valorile tensiunii și curentului indus furnizate de pachetul de programe comercial *CDEGS* (fig. 7), rezultând o bună concordanță. Este cunoscut faptul că variația curentului indus prezintă aceeași alură ca și cea a tensiunii induse, în continuare prezentându-se doar rezultatele obținute pentru valoare maxima a tensiunii.

Influența distanței de separație LEA-CM. Pentru a determina variația tensiunii și curentului indus în CM, determinată de modificarea distanței de separație dintre LEA și CM se studiază un set de 39 de geometrii diferite în care se modifică poziția relativă a conductei față de LEA, restul parametrilor problemei rămânând neschimbați (rezistivitatea solului, încărcarea LEA, etc.).

În figurile 8 și 9 este prezentată variația tensiunii induse în CM, în funcție de distanța de separație LEA-CM. Se observă în mod evident că alura acestora corespunde cu alura de variație a câmpului magnetic, nesimetria variației de-o parte și de alta a LEA fiind datorată amplasării asimetrice a conductoarelor de fază pe stâlp.

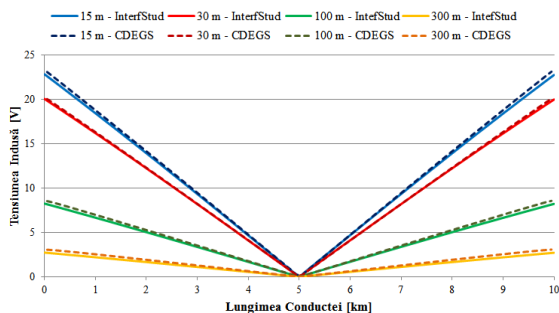


Fig. 8: Tensiunea indusă de-a lungul CM pentru diferite distanțe de separație

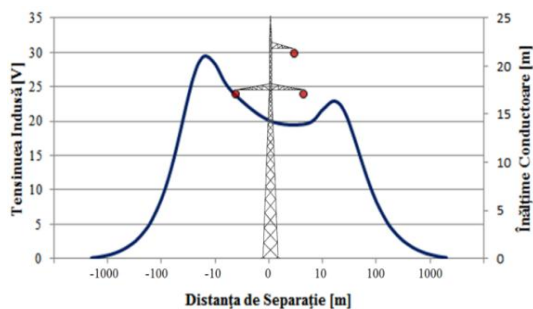


Fig. 9: Variația tensiunii induse în CM în funcție de distanța de separație

Influența lungimii coridorului comun de distribuție. În vederea determinării modului în care valoarea tensiunii, respectiv a curentului indus sunt influențate de lungimea coridorului comun, se propune analiza în detaliu a unor coridoare de lungime diferită, considerând aceeași geometrie.

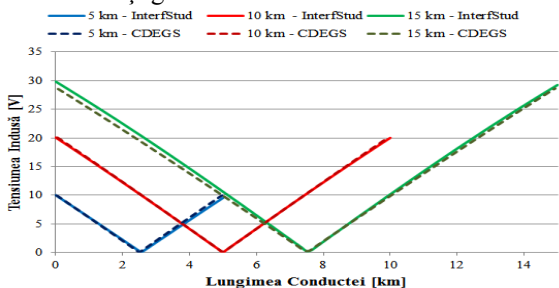


Fig. 10: Tensiunea indusă de-a lungul CM în cazul unor coridoare de lungime diferită

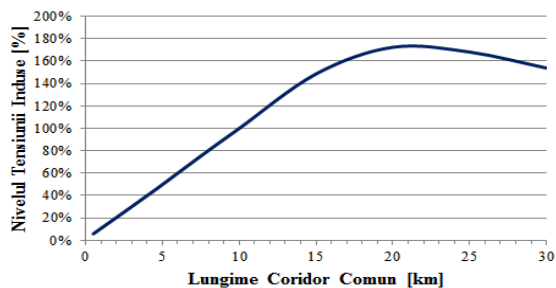


Fig. 11: Variația tensiunii induse în CM în funcție de lungimea coridorului comun

Figura 10 și figura 11 ilustrează variația valorii maxime a tensiunii induse în CM, în funcție de variația distanței de separație LEA-CM, raportate la valorile maxime obținute în cazul coridorului de 10 km.

În scopul identificării rolului pe care îl are cantitatea de energie electrică transportată de LEA asupra variației tensiunii/curentului indus în CM, se propune studiul variației încărcării în curent a fazelor LEA. Prin analiza detaliată a valorilor maxime a tensiunii (fig. 12÷13), raportate la valorile maxime, se constată că acestea variază direct proporțional cu încărcarea în curent a fazelor LEA. În cadrul acestui studiu s-au investigat încărcări simetrice între 150 A și 550 A corespunzătoare unor încărcări uzuale de putere aparentă tranzitată aferente liniilor de 110 kV ale Operatorilor de Distribuție din România (16.5 MVA ÷ 60.5 MVA).

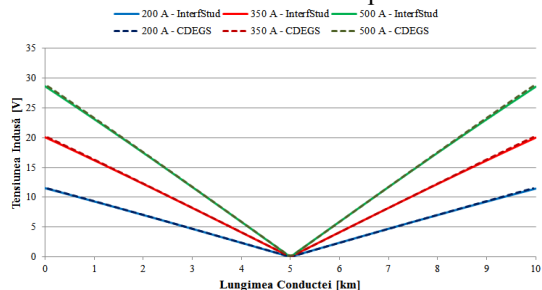


Fig. 12: Tensiunea indusă de-a lungul CM pentru diferite încărcări ale LEA

Acuratețea rezultatelor obținute cu ajutorul programului *InterfStud* dezvoltat, în comparație cu cele furnizate de pachetul comercial *CDEGS* validează utilizarea acestuia în privința evaluării tensiunilor induse în CM datorate cuplajului inductiv LEA-CM.

Efectul unui defect de punere la pământ a unei faze a LEA. Se consideră apariția unui defect de punere la pământ a unei faze a LEA, într-un punct (B) la circa 30 km, în afara coridorului comun de distribuție (fig.14). [18]

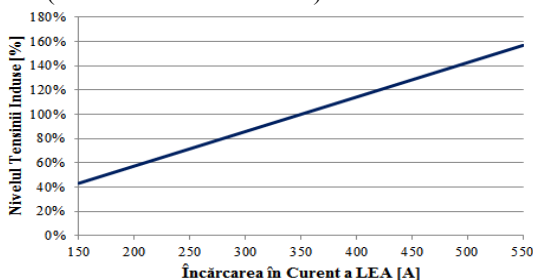


Fig. 13: Variația tensiunii induse în CM în funcție încărcarea în curent

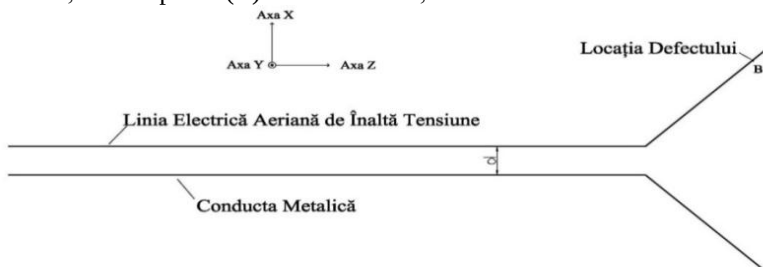


Fig. 14: Apariția unui defect de punere la pământ a unei faze

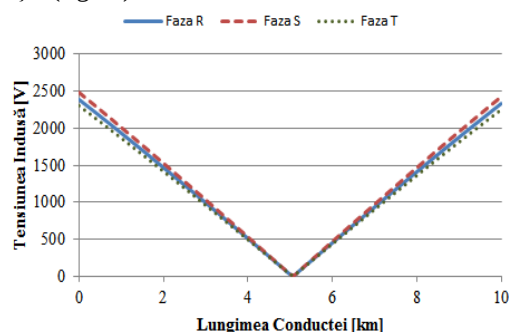
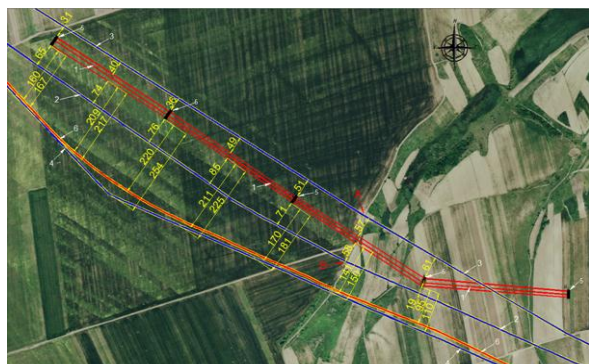


Fig. 15: Tensiunea indusă în CM



1 – LEA IT 400kV/50Hz; 2 – Conducta tranzit T2; 3 – Conducta tranzit T3; 4 – Conducta tranzit T1; 5 – Stâlpi electrici a LEA IT; 6 – Conducta import CI.

Fig. 16: Tronsonul comun de distribuție LEA-CM subterane

Verificarea aplicabilității metodelor dezvoltate, în coridoarele comune CM-LEA prin teste și măsurători în teren

Descrierea problemei studiate. Se propune spre analiză o rețea de conducte de transport gaze naturale existentă în exploatare în cadrul companiei SNTGN Transgaz SA. Sistemul este format din patru conducte metalice subterane paralele, de-a lungul traseului cele patru CM subterane paralele împart același coridor de distribuție cu o LEA de 400kV/50Hz (fig. 16).

Tensiuni induse în regim permanent. S-au determinat tensiunile induse în cele patru conducte tehnologice în regim permanent (condiții normale de funcționare) pentru o încărcare simetrică de 700 A a conductoarelor de fază a LEA

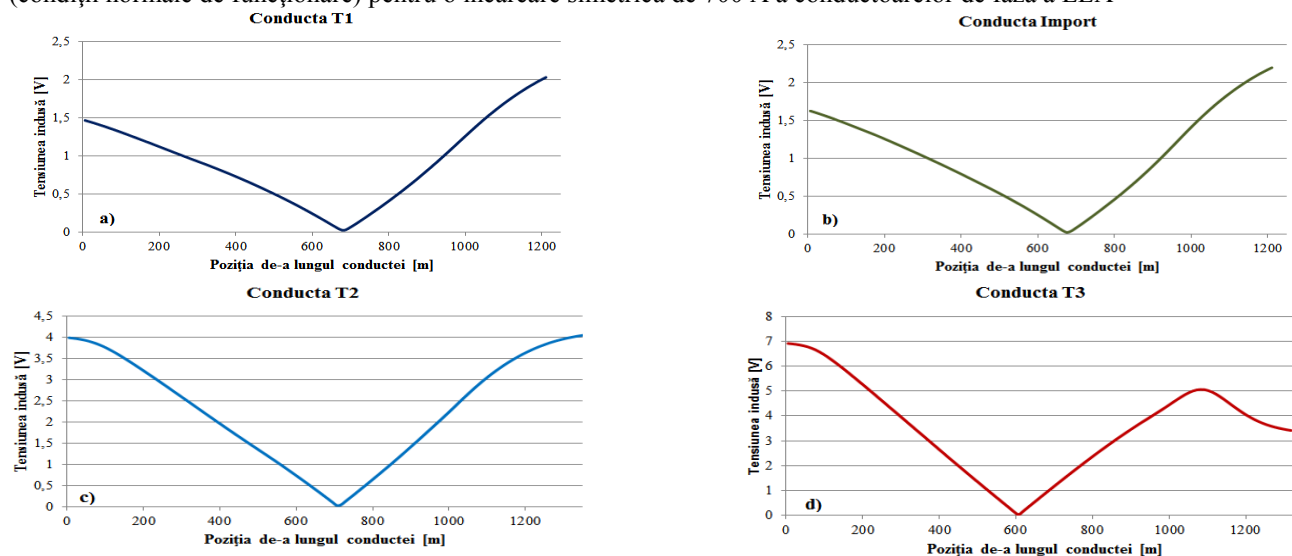


Fig. 17: Amplitudinea tensiunilor induse de-a lungul conductelor: a) Tranzit 1(T1); b) Import (CI); c) Tranzit 2(T2) și d) Tranzit 3 (T3)

Pe baza amplitudinii și fazei tensiunilor induse la capetele secțiunilor de conductă furnizate de programul dezvoltat s-a determinat variația în timp a potențialelor conductelor T3 și T2 în punctele A și B față de potențialul de referință (-0,6 V) a electrozilor de zinc al cupoanelor de măsură instalate.

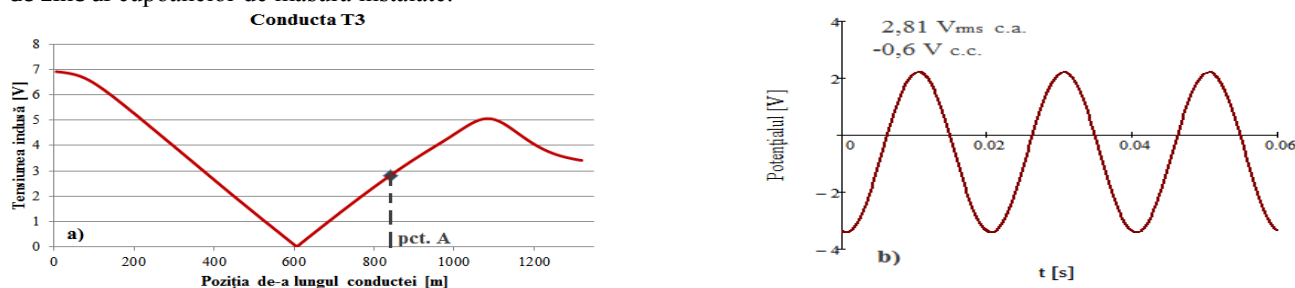
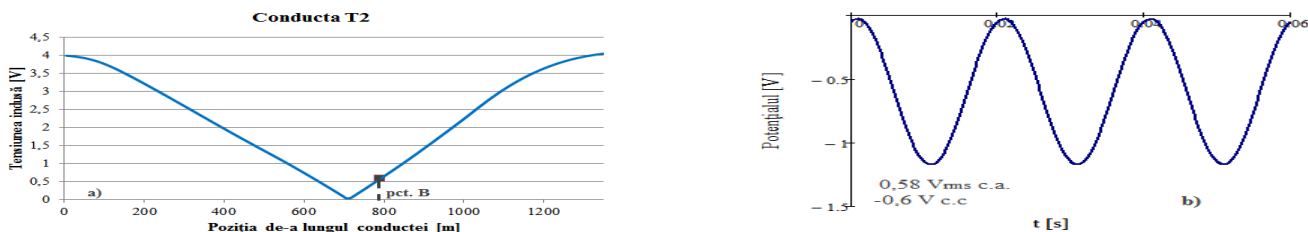


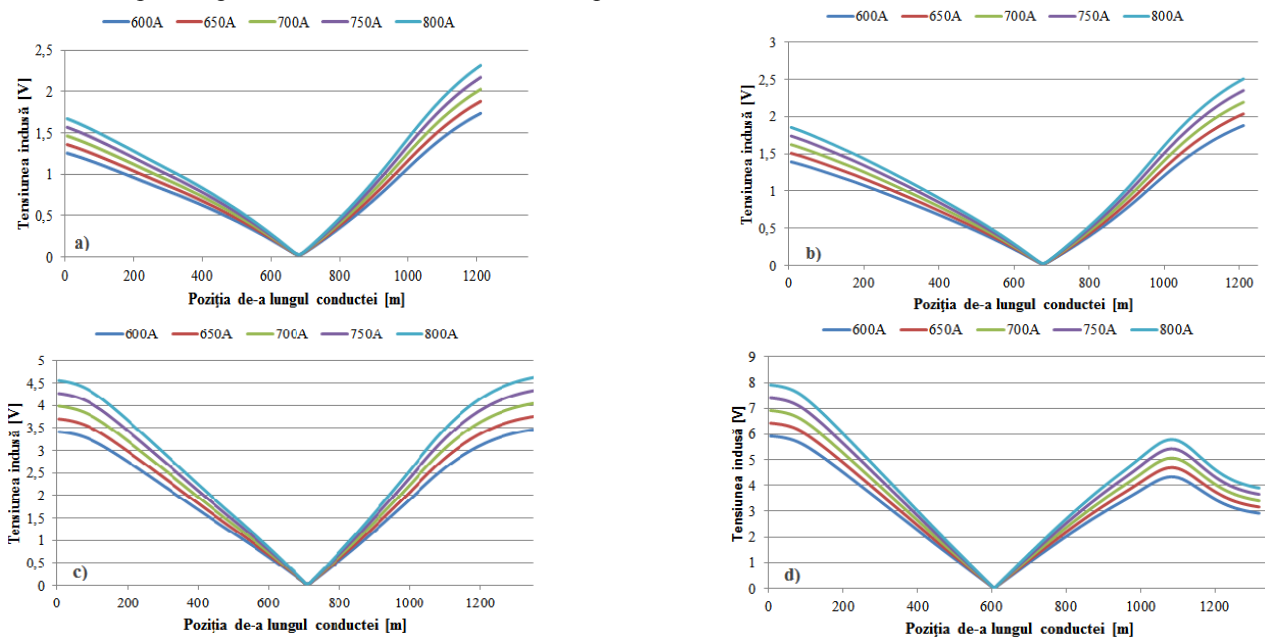
Fig.18: a) Amplitudinea tensiunilor induse de-a lungul conductei T3; b) Variația în timp a potențialului conductei T3 în punctul de măsurare A față de potențialul electrodului de Cu/CuSO₄

Defectul de punere la pământ a fazei LEA fiind considerat mult în afara coridorului comun de distribuție, efectul cuplajului conductiv este considerat neglijabil, curentul de defect care circulă prin LEA în porțiunea de coridor comun având doar un efect inductiv asupra conductei de gaz, făcând astfel posibilă o analiză acestei probleme de interferență LEA-CM cu ajutorul programului dezvoltat *InterfStud*. Pentru a evalua valorile acestor tensiuni și curenți induși s-a considerat un curent de defect de 2500 A prin faza pusă la pământ, și respectiv o încărcare de 350 A corespunzătoare unui regim normal de funcționare pe celelalte două faze.

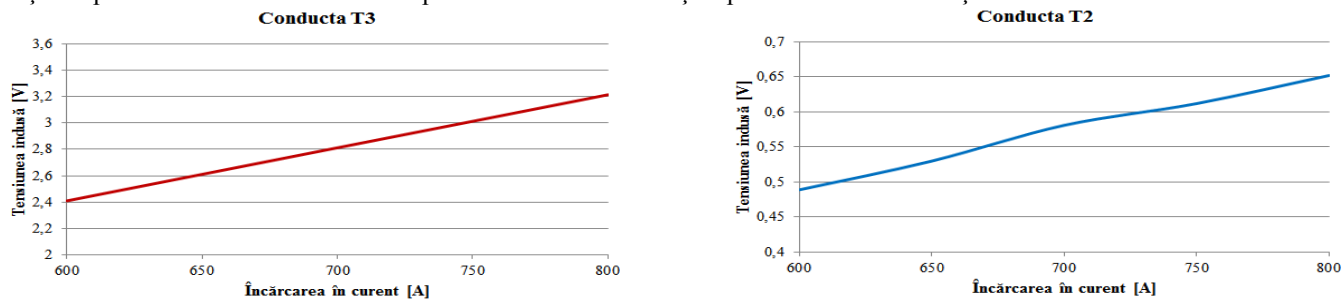
În urma analizei efectuate se observă că valoarea tensiunii și curentului indus în CM crește de 100 de ori față de regimul normal de funcționare a LEA. De asemenea se constată o variație de 8% a tensiunii induse în funcție de poziția relativă a fazei defecte față de conducta metalică. [15]



Variația tensiunii induse în funcție de încărcarea în curent a LEA. Deoarece puterea aparentă tranzitată de LEA variază în timp în funcție de consumul de energie electrică, s-a investigat influența încărcării în curent a conductoarelor de fază a LEA asupra tensiunilor induse în cele patru CM. S-au studiat diverse încărcări simetrice a LEA, variind curentul de încărcare între 600 A și 800 A corespunzător unor puteri aparente tranzitate de 140 MVA, respectiv 180 MVA.



În urma analizei efectuate s-a constatat o variație liniară a tensiunilor induse în funcție de încărcarea în curent a conductoarelor de fază a LEA, o creștere 33% a curentului de încărcare producând o creștere de 25% a tensiunii induse. În figura 21 se prezintă variația amplitudinii tensiunilor induse în punctele de măsurare A și B pentru conductele T3 și T2:



În urma analizei efectuate se constată că în cazul conductelor tehnologice T1, CI și T2 o încărcare nesimetrică de 2% produce o scădere de 10% a tensiunii induse, pe când în cazul conductei T3 această încărcare nesimetrică produce o creștere de 11%. Efectul diferit asupra conductei T3 se explică prin poziționarea acesteia de cealaltă parte a axului LEA ca urmare această conductă prezentând o expunere diferită față de succesiunea conductoarelor de fază a LEA.

Măsurători in situ a tensiunilor induse. În vederea validării rezultatelor obținute în urma modelării și implementării problemei de interferență electromagnetică LEA-CM în programul *Interfstud* s-a realizat măsurarea in situ a tensiunilor induse în conductele tehnologice T3 și T2, prin intermediul unor cupoane de măsurare amplasate în locațiile A și B (a se vedea fig. 16).

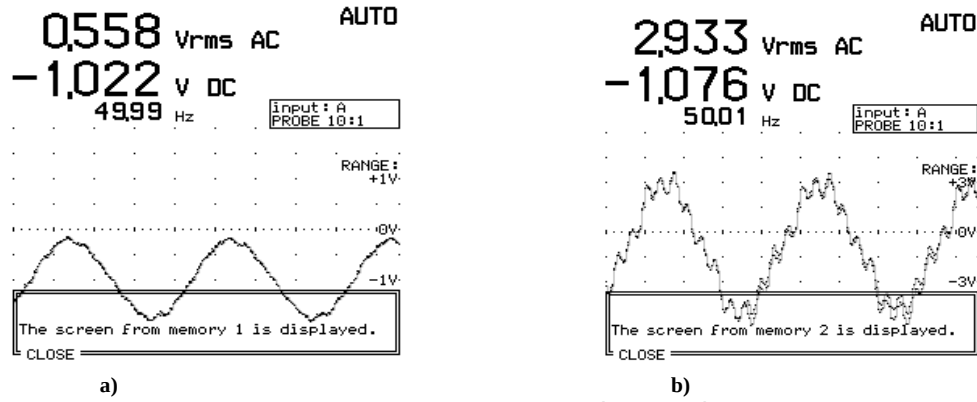


Fig. 22: Variația potențialul conductă-sol(electrod de Cu/CuSO₄ înregistrat în punctele de măsurare A și B

În figura 22 sunt prezentate variațiile potențialelor conductelor de tranzit T2 și T3 față de electrodul de zinc al cupoanelor de măsurare amplasate în punctele A și B înregistrate prin intermediul unui osciloscop de ce tip MoData. Se constată că valorile măsurate se încadrează în plaja de valori determinate pentru diferite încărcări ale LEA (fig. 21), prin implementarea problemei în programul dezvoltat, fapt care validează simulările efectuate. [14]

Implementarea unui circuit echivalent pentru modelarea procesului de coroziune a unor conducte metalice care împart același coridor de distribuție cu o linie electrică aeriană

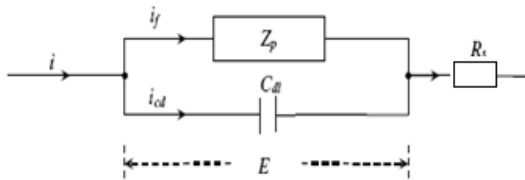


Fig. 23: Reprezentarea schematică a circuitului electric echivalent

$$\frac{dE}{dt} + \frac{i_{corrDC}}{C_{dl}} \left[e^{\frac{E-E_{cor,DC}}{\beta_a}} - e^{-\frac{E-E_{cor,DC}}{\beta_c}} \right] + \frac{E}{R_s C_{dl}} = \frac{E_{DC}}{R_s C_{dl}} + \frac{E_p}{R_s C_{dl}} \sin(\omega t) \quad (4)$$

Ecuția diferențială având ca soluție tensiunea aplicată de-a lungul materialului supus coroziunii s-a rezolvat utilizând o metodă numerică hibridă. S-au considerat diferite valori ale rezistenței solului și capacității de dublu strat, fig. 24÷25.

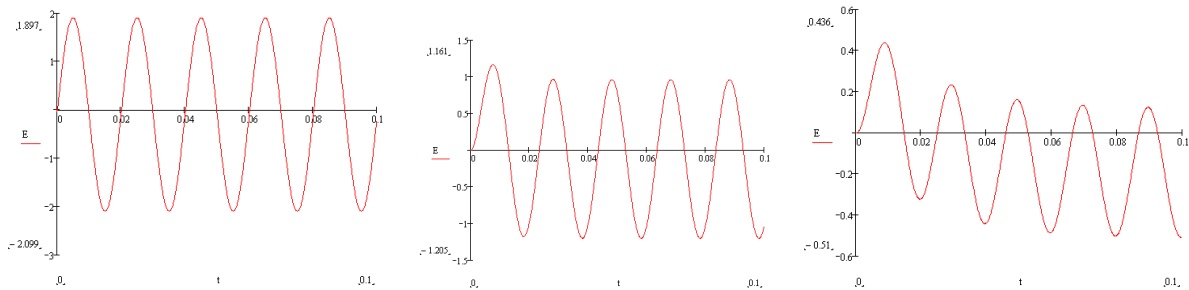


Fig. 24: Tensiunea E pentru diferite valori ale lui Rs (10Ω, 250Ω, 1000Ω)

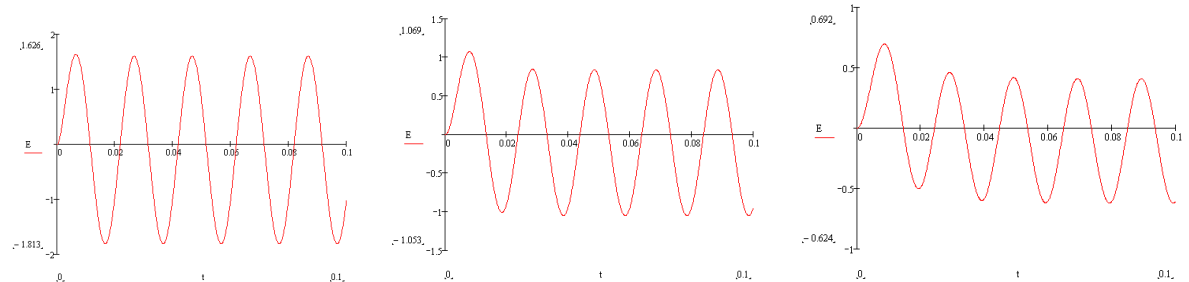


Fig. 25: Tensiunea E pentru diferite valori ale capacității Cd (20μF, 60μF, 120μF)

Condensatorul acționează pentru drenarea curentului alternativ, creșterea capacității acestui dublu strat implică scăderea impedanței, ceea ce conduce la creșterea curentului care străbate elementul și deci scăderea curentului de coroziune.

Rezultatele obținute evidențiază faptul că fenomenul de coroziune este puternic influențat de condițiile de mediu în care se găsesc plasate materialele metalice (după cum s-a arătat, atât rezistența soluției cât și capacitatea de dublu strat sunt determinate de proprietățile fizice ale solului).

Dezvoltarea unei metode optimizate (pe baza circuitelor echivalente dezvoltate în cadrul metodei hibride) de poziționare și legare la instalațiile de împământare a conductelor îngropate, pentru obținerea unui efect maxim de reducere a amplitudinii tensiunilor induse

Dezvoltarea unei metode de atenuare a valorilor tensiunilor induse în conductele de lungime mare

Verificarea aplicabilității metodelor de atenuare dezvoltate în coridoarele comune CM-LEA prin teste și măsurători în teren

Se propune o analiză în detaliu a influenței parametrilor geometrici și electrici asupra variației nivelului tensiunilor și curenților induși în conducte metalice (CM) cu traseu comun cu linii electrice aeriene (LEA). Scopul acestui studiu este de a oferi informații necesare în determinarea unor soluții tehnice pentru diminuarea fenomenelor de coroziune în mediul electromagnetic, prin atenuarea tensiunilor induse în conductele de gaz de către LEA cu care împarte același coridor de distribuție.

Tehnicile de atenuare propuse, pentru a reduce efectul cuplajului inductiv, pentru un sistem de conducte constând în tronsoane subterane sau supraterrane sunt: minimizarea cuplajului inductiv prin proiectarea corespunzătoare a coridorului comun LEA-CM; legarea conductei la rețeaua de împământare; utilizarea flanșelor izolatoare.

O parte dintre conceptele de atenuare ale cuplajului inductiv, au fost verificate prin teste și măsurători în teren, în colaborare directă cu laboratorul de diagnosticare conducte din cadrul sucursalei de cercetare și proiectare pentru transport gaze naturale S.C.P.T.G.N.-Mediaș.

Reducerea câmpului electric de conducție longitudinal în zona de influență. În scopul atenuării cuplajului inductiv, o LEA ar putea fi proiectată la modul ideal, pentru a genera un câmp electric de conducție longitudinal constant și minim, în conducta adiacentă. Acest câmp, rezultă ca urmare a trecerii curentului prin conductorul LEA, și nu este același cu câmpul electrostatic, care rezultă din potențialul conductorului liniei în raport cu pământul. În scopul întăririi acestei afirmații, s-au realizat modelări și simulări, pentru a urmări efectul ecranării și sincronizării fazelor conductoarelor liniei electrice, asupra câmpului electric longitudinal de conducție. În scopul analizei influenței transpoziției fazelor LEA asupra variației tensiunii induse în CM, s-a investigat o problemă concretă de interferență LEA-CM: o conductă metalică subterană de gaz împarte pe o lungime de 12 km același coridor de distribuție cu o LEA 110kV/50Hz. (fig. 26)

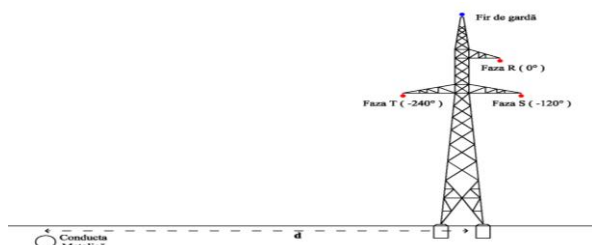


Fig. 26: Secțiunea transversală a problemei de interferență LEA-CM studiată

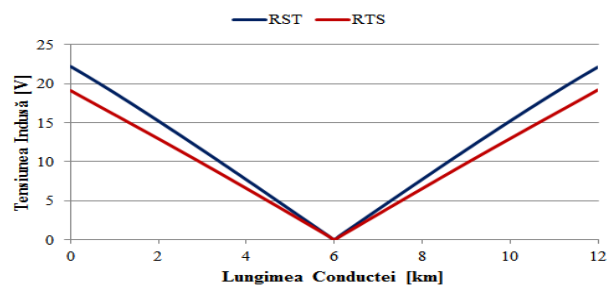


Fig. 27: Tensiunea indusă în CM (condiții normale de operare)

Implementând problema propusă în programul *InterfStud*, s-a evaluat tensiunea indusă în CM în condiții normale de funcționare a LEA, fără aplicarea transpozițiilor asupra fazelor LEA. S-a considerat o încărcare simetrică a fazelor cu un curent de 300 A, echivalentul unei puteri aparente tranzitate de 33 MVA. S-a studiat atât cazul unei succesiuni directe, „RST” (faza R=0°, faza S=-120°, iar faza T=-240°), a fazelor pe stâlp, cât și cazul unei succesiuni inverse „RTS” (fig. 27).

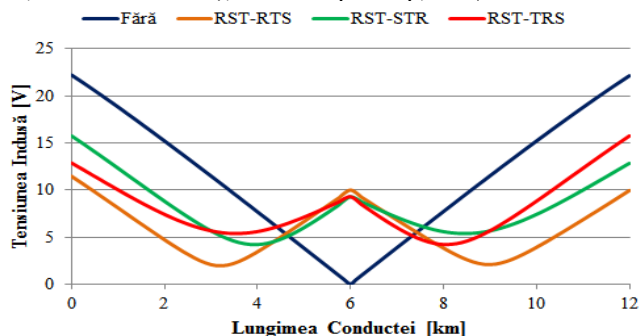


Fig. 28: Variația tensiunii induse în funcție de transpoziția aplicată

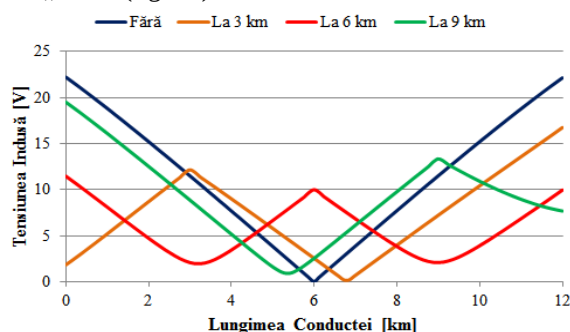


Fig. 29: Transpoziție „RST-RTS” aplicată în diferite locații

S-a constatat o scădere de 14% a valorii maxime a tensiunii induse în cazul succesiunii inverse (19,22 V) în comparație cu succesiunea directă a fazelor LEA considerată de bază. Ca urmare, în cadrul studiilor efectuate s-a folosit drept termen de comparație valoarea maximă a tensiunii induse obținute pentru succesiunea directă a fazelor (22,23 V). S-a studiat influența asupra tensiunii induse în CM, a unei transpoziții a fazelor LEA aplicată la mijlocul coridorului comun de distribuție. S-a analizat cazul unei succesiuni negative a fazelor aplicată secvenței directe „RST” (transpoziție de tip „RST-STR”), cazul unei succesiuni pozitive a fazelor aplicată secvenței directe „RST” (transpoziție de tip „RST-TRS”), și respectiv cazul unei transpoziții din secvență directă în secvență inversă (transpoziție de tip „RST-RTS”). Valorile tensiunii induse sunt comparate cu situația în care nu s-a aplicat transpoziția fazelor (fig. 28÷29).

S-a constatat o atenuare a nivelului tensiunii induse în CM ca urmare a aplicării transpoziției, cea mai mare scădere valorii tensiunii induse se obține pentru transpoziția „RST-RTS”, și anume o atenuare de 48,37%. În acest caz valoarea maximă (11,48 V) a tensiunii induse se obține în dreptul transpoziției și respectiv la capetele CM.

Pentru o analiză detaliată a influenței transpozițiilor fazelor LEA asupra valorii tensiunii induse în CM, s-a investigat situația în care se aplică o transpoziție de tip „RST-RTS” în diferite locații de-a lungul coridorului comun de distribuție. S-a investigat atât cazul unei succesiuni negative a fazelor aplicate secvenței directe „RST” (transpoziții de forma „RST-STR-TRS”), precum și cazul unei secvențe de succesiuni pozitive a fazelor aplicate secvenței directe „RST” („RST-TRS-STR”). (fig.30)

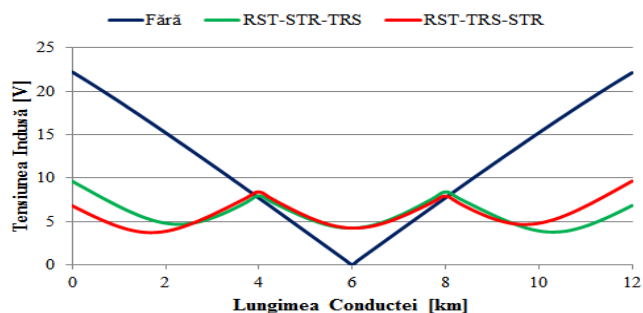


Fig. 30: Tensiunea indusă în CM în urma unei transpoziții complete

Eliminarea discontinuităților electrice sau geometrice dintr-o zonă de influență conductă de gaz – linie electrică aeriană

Se consideră o conductă metalică subterană de transport și distribuție a gazului metan care împarte pe o distanță de 1.3 km același coridor de distribuție, cu două LEA: de 110kV/50Hz respectiv 400kV/50Hz (fig. 31) [13-14]. Solul se consideră omogen pe toată lungimea coridorului comun de distribuție, având o rezistivitate de 100 $\Omega \cdot m$.

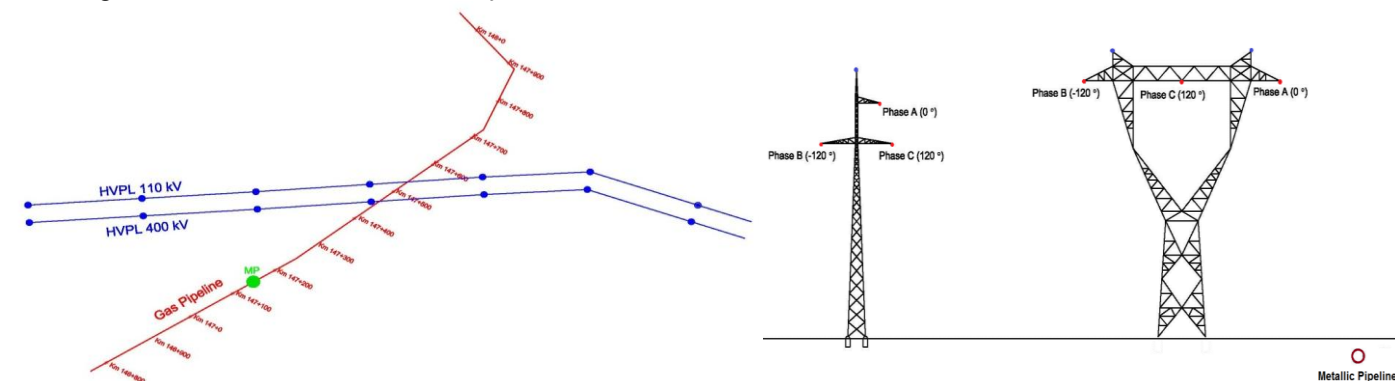


Fig. 31: Coridorul comun de distribuție LEA-CM

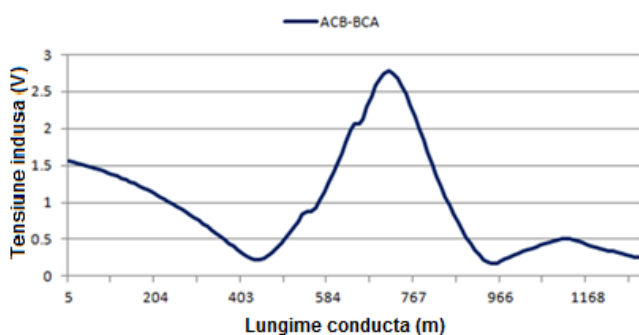


Fig. 32: Tensiunea indusă de-a lungul CM

Sisteme optimizate de conectare a conductelor metalice la instalația de împământare pentru atenuarea tensiunilor induse

Se propun diverse tehnici de legare a conductelor metalice de gaz la instalația de împământare care pot fi implementate pentru a reduce amplitudinea tensiunilor induse în conducte, după instalarea utilităților în zona de influență. Cu toate că o conductă din zona de

În urma analizei efectuate, s-a constatat ca alura tensiunii induse este simetrică pentru cele două succesiuni complete de transpoziție studiate. Valorile maxime ale tensiunii induse s-au obținut la capetele conductei, respectiv în dreptul punctelor de transpoziție (la 4 km, la 8 km față de începutul coridorului comun). În comparație cu situația în care nu s-au aplicat transpoziții, atenuarea nivelului de tensiune indusă a fost evaluată la o valoare de 56%. În schimb dacă aceste succesiuni complete de transpoziție se aplică unei secvențe inverse „RTS” a fazelor LEA, atunci atenuarea tensiunii induse devine de 65%.

După implementarea problemei în programul Interfstud se obțin tensiunile alternative induse în CM. Conform reglementărilor europene [22-24], 1200 mV este valoarea considerată critică pentru tensiunea indusă într-o structură metalică, din punct de vedere al probabilității apariției fenomenului de coroziune. În cazul acestui studiu de caz, se poate observa din figura 32, prezența riscului de apariție a degradării prin coroziune.

Ca urmare a distribuției diferite a câmpului electromagnetic de o parte și de alta al axei LEA, pentru CM studiată, în punctul de subtraversare apare un vârf de tensiune indusă.

influența este proiectată folosind aproximări corespunzătoare, vârfurile tensiunii induse pot să apară pe o conductă la începutul sau la sfârșitul punctelor zonei de influență. Se prezintă metodele de atenuare a acestor vârfuri de tensiune folosind metode optimizate de poziționare și legare la instalațiile de împământare a conductelor îngropate conform analizei sursei distribuite prezentate în [16,25]

Cea mai eficientă locație pentru instalația de împământare a unei conducte îngropate este punctul în care tensiunea indusă este maximă. Împământarea stabilită în acest punct duce la anularea distribuției exponențiale a tensiunii. Efectele de atenuare ale instalației de împământare sunt neglijabile la o tensiune adiacentă mai mare decât $2/\text{Real}(\gamma)$ m depărtare, unde γ reprezintă constanta de propagare. Prin urmare, împământarea ar trebui stabilită la fiecare maxim al tensiunii induse. [26-29]

După cum se poate vedea din figura 33, riscurile datorate cuplajelor dintre CM și LEA pot fi atenuate prin legarea la rețeaua de împământare a conductei, folosind fie paturi independente de împământare, anozii distribuiți sau conductori orizontali de protecție, fie montând rețele de împământare la punctele de contact. [27,30]

Asupra CM s-a utilizat ca măsură de reducere a valorilor tensiunilor induse, un conductor de atenuare situat în stânga conductei. S-au considerat două cazuri diferite: (1) CM și conductorul de atenuare nu sunt conectate între ele (2) conductorul de atenuare sunt conectate între ele.

După implementarea problemei în programul Interfstud se obțin tensiunile alternative induse în CM (fig. 34), utilizarea conductorului de atenuare dovedindu-se a fi mai eficientă, atunci când acesta este conectat la CM. Pentru cazul studiat, s-a reușit o reducere a tensiunilor induse, la extremitatea stângă a CM, de până la 66% respective de până la 21% în zona de subtraversare a LEA.

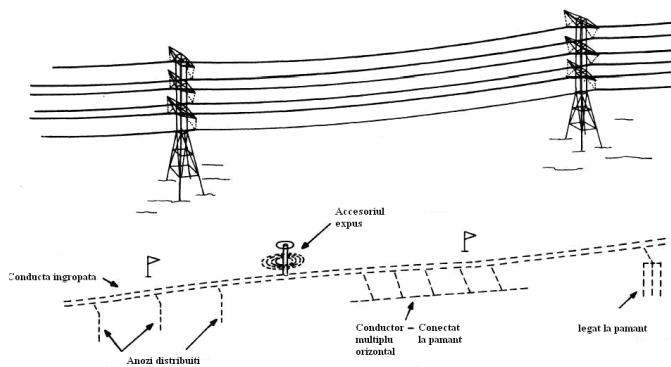


Fig. 33: Tehnici optime de atenuare a tensiunii induse

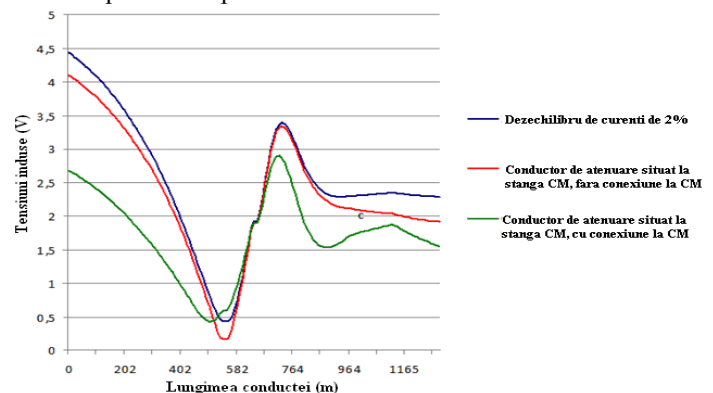


Fig. 34: Tensiunile induse în CM, utilizând conductor de atenuare

Utilizarea flanșelor izolatoare. S-au considerat spre analiză trei situații diferite de atenuare a interferențelor electromagnetice LEA-CM cu ajutorul flanșelor izolatoare, pe CM: *Cazul 1:* extremitățile segmentului supraterran al CM este conectat la flanșe izolante; *Cazul 2:* fiecare capăt de tronson care prezintă conexiune de izolare prezintă împământare (CM s-a considerat formată din 8 tronsoane, deoarece de-a lungul axei de simetrie al coridorului comun, conducta are orientare diferită); *Cazul 3:* pe toată lungimea conductei de gaz, atât segmentele subterane cât și cele supraterrane, sunt prevăzute împământări.

Analizând rezultatele prezentate în figura 35, se constată atenuare considerabilă a tensiunilor induse, de până la 80%, în urma utilizării flanșelor izolatoare.[31]

Un studiu comparativ al performanțelor obținute prin utilizarea conductoarelor de atenuare respectiv a flanșelor izolante (fig. 34 versus fig. 35) demonstrează faptul că cea de a doua tehnică de atenuare este mai eficientă.

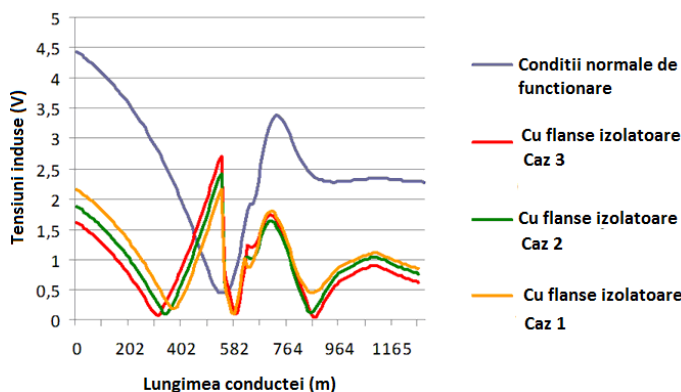


Fig. 35: Tensiunile induse de-a lungul conductei utilizând flanșe izolante

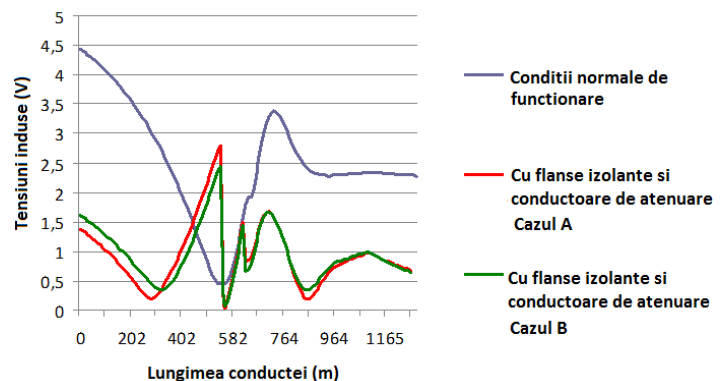


Fig. 36: Tensiunile induse de-a lungul conductei utilizând flanșe izolante și conductoare de atenuare

Asupra aceleiași CM s-au aplicat simultan, ca tehnici de atenuare a tensiunilor induse, atât conductoare de atenuare cât și conexiuni de izolare. Într-un prim caz (cazul A), conductorul de atenuare este conectat la CM numai la extremitățile acestuia iar în alt caz (cazul B), presupune ca la fiecare 100m, conductorul de atenuare să fie conectat la CM. Comparând rezultatele obținute (fig. 36) se constată faptul că acest procedu poate fi mai eficient decât în cazul utilizării fiecărei tehnici independent.

BIBLIOGRAFIE

- [1]. Abu-Siada A. & Bahram M.: „Effect of HVAC System on Neighbouring Pipelines and Communication Cables”, Australasian Universities Power Engineering Conference, AUPEC, ISBN: 978-1-4244-5153-1, Adelaide, Australia, September 27-30, 2009.
- [2]. Al-Badi A.H.: „Analysis of Factors Affecting the Level of Electromagnetic Interference on Pipelines close to Power Lines”, International Conference on Power Engineering, ICOPES, ISBN: 960-8457-03-3, Rio de Janeiro, Brazil, October 12-15, 2004.
- [3]. Al-Badi A.H., Ghanian S.M. & EL-Saadany E.F.: „Prediction of Metallic Conductor Voltage Owing to Electromagnetic Coupling Using Neuro Fuzzy Modeling”, IEEE Transaction on Power Delivery, ISSN : 0885-8977, Vol. 24, No. 1, pp. 319-327., January, 2009.
- [4]. Ametani A. & Hosakawa Y.: „EMTP Simulations and Theoretical Formulation of Induced Voltages to Pipelines from Power Lines”, International Conference on Power Systems Transients, IPST, Lyon, France, June 4-7, 2007.
- [5]. Bortels L., Deconinck J., Munteanu C. & Țopa V.: „A General Applicable Model for AC Predictive and Mitigation Techniques for Pipeline Networks Influenced by HV Power Lines”, IEEE Transaction on Power Delivery, ISSN : 0885-8977, Vol. 21, No. 1, pp.210-217., January, 2006.
- [6]. Braunstein R., Schmutz E. & Propst G.: „Comparison and Discussion on Potential Mitigation Measures Regarding Inductive Interference of Metallic Pipelines”, Electrical Systems for Aircraft, Railway and Ship Propulsion, ESARS, ISBN: 978-1-4244-9092-9, Bologna, Italy, October 19-21, 2010.
- [7]. Braunstein R., Schmutz E. & Oelz M.: „Impacts of Inductive and Conductive Interference due to High-Voltage Lines on Coating Holidays of Isolated Metallic Pipelines”, 21st International Conference on Electricity Distribution, CIRED, Frankfurt, Germany, June 6-9, 2011.
- [8]. Christoforidis G.C., Labridis D.P., Dokopoulos P.S. & Kioupis N.: „AC Interference On A Gas Pipeline Caused By Nearby Power Lines In A Complex Right-Of-Way. Comparison between Measurements and Calculations”, CECOR Meeting, Dresden, Germany, June 15-17, 2004.
- [9]. Christoforidis G.C., Labridis D.P. & Dokopoulos P.S.: „A Hybrid Method for Calculating the Inductive Interference Caused by Faulted Power Lines to Nearby Buried Pipelines”, IEEE Transaction on Power Delivery, ISSN : 0885-8977, Vol. 20, No. 2, pp.1465-1473., April, 2005.
- [10]. Dawalibi F.P. & Southey R.D.: „Analysis of Electrical Interference From Power Lines To Gas Pipelines Part II: Parametric Analysis”, IEEE Transaction on Power Delivery, ISSN : 0885-8977, Vol. 5, No. 1, pp. 415-421., 1990.
- [11]. Djogo G. & Salama M.M.A.: „Calculation of Inductive Coupling From Power Lines to Multiple Pipelines and Buried Conductors”, Electric Power Systems Research, ISSN 0378-7796, Vol. 41, No. 1, pp. 75-84., 1997.
- [12]. Czumbil L., Micu D.D., Christoforidis G.C., Ceclan A. & Miron O.: „User Friendly EMI Software for Induced A.C. Potential Evaluation”, 8th International Conference on Computation in Electromagnetics, CEM, ISBN: 978-1-84919-468-6, Wroclaw, Poland, April 11-14, 2011.
- [13]. Czumbil L., Christoforidis G.C., Micu D.D., Șteț D., Ceclan A. & Pop O.: „A User-Friendly Software Application for Induced A.C. Interference Evaluation”, 46th International Universities' Power Engineering Conference, UPEC, ISBN: 978-3-8007-3402-3, Soest, Germany, September 5-8, 2011.
- [14]. Czumbil L., Șteț D., Micu D.D., Țopa V. & Ancăș L.: „Stream Gas Pipeline in Proximity of High Voltage Power Lines. Part II - Induced Voltage Evaluation”, 47th International Universities' Conference on Power Energy, London, September 4-7, 2012.
- [15]. Czumbil L., Șteț D., Micu D.D., Țopa V. & Ancăș L.: „Induced Voltage and Current Computation for Different HVPL Operating Conditions”, International Symposium on Electromagnetic Compatibility, EMC Europe, Rome, Italy, September 17-21, 2012.
- [16]. Micu D.D., Czumbil L., Ceclan A., Darabant L., Șteț D. & Christoforidis G.C.: „Electromagnetic Interferences Between HV Power Lines and Metallic Pipelines Evaluated with Neural Network Technique”, 10th International Conference on Electrical Power Quality and Utilisation, EPQU, ISBN: 978-1-4244-5171-5, Lodz, Poland, September 15-17, 2009.
- [17]. Micu D.D., Czumbil L., Christoforidis G.C. & Simion E.: „Neural Networks Applied in Electromagnetic Interference Problems”, Revue Roumain des Sciences Techniques, Serie Electrotechnique et Energetique, ISSN: 0035-4066, Vol. 57, No. 2, pp.162-171., 2012.
- [18]. Micu D.D., Czumbil L., Christoforidis G.C., Ceclan A. & Șteț D.: „Evaluation of Induced AC Voltages in Underground Metallic Pipeline”, COMPEL: The International Journal for Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering, 0332-1649, Vol. 31, No. 4, pp.1133-1143., 2012.
- [19]. Micu D.D., Czumbil L., Prsa M. & Kasas-Lazetic K.: „InterfStud Electromagnetic Interference Software - An Accurate Evaluation of Current Distribution in Soil and in Underground Pipelines”, International Symposium on Electromagnetic Compatibility, EMC Europe, Rome, Italy, September 17-21, 2012.
- [20]. Șteț D., Czumbil L., Micu D.D., Țopa V. & Ancăș L.: „Stream Gas Pipeline in Proximity of High Voltage Power Lines. Part I - Soil Resistivity Evaluation”, 47th International Universities' Power Engineering Conference, UPEC, London, September 4-7, 2012.
- [21]. Brichau F.A. & Deconinck J.: „A Numerical Model for Cathodic Protection of Buried Pipes”, Corrosion, ISSN: 0010-9312, Vol. 50, No. 1, pp. 39-49., 1994.
- [22]. CEN/TS 15280: „Evaluation of A.C. Corrosion Likelihood of Buried Pipelines - Application to Cathodically Protected Pipelines”, European Committee for Standardization, CEN, ICS 23.040.99; 77.060, March, 2006.
- [23]. CECOR: „A.C. Corrosion on Cathodically Protected Pipelines. Guidelines for Risk Assessment and Mitigation Measures”, Comité d'Etude de la Corrosion et de la Protection des Canalisations, 2001.
- [24]. EN 50443: „Effects of Electromagnetic Interference on Pipelines caused by High Voltage A.C. Railway Systems and/or High Voltage A.C. Power Supply Systems”, European Committee for Electrotechnical Standardization, CENELEC, ICS 33.040.20; 33.100.01, ISBN: 978-0-580-54804-8, 2011.
- [25]. Lee H.-G., Ha T.-H., Ha Y.-C., Bae J.-H. & Kim D.-K.: „Analysis of Voltages Induced by Distribution Lines on Gas Pipelines”, International Conference on Power System Technology, PowerCon, ISBN: 0-7803-8610-8, pp. 598-601., Singapore, November 21-24, 2004.
- [26]. Southey R.D., Ruan W. & Dawalibi F.P.: „AC Mitigation Requirements: A Parametric Analysis”, CORROSION 2001 NACE International Conference, Houston, USA, March 11-16, 2001.
- [27]. Southey R.D., Ruan W., Dawalibi F.P. & Fortin S.: „Estimating AC Mitigation Requirements for Pipelines Installed in High Voltage AC Corridors: Fault Conditions”, CORROSION 2003, NACE International Conference, San Diego, USA, March 17-21, 2003.
- [28]. Ma J., Fortin S. & Dawalibi F.P.: „Analysis and Mitigation of Current Unbalance Due to Induction in Heavily Loaded Multicircuit Power lines”, IEEE Transaction on Power Delivery, ISSN: 0885-8977, Vol. 19, No. 3, pp. 1378-1383., July, 2004.
- [29]. Munteanu C., Țopa V., Purcar M., Răcășan A., Pop I. & Mateș G.: „Analysis of the Electromagnetic Interferences between Overhead Power Lines and Buried Pipelines”, International Symposium on Electromagnetic Compatibility, EMC Europe, Rome, Italy, September 17-21, 2012.
- [30]. Li Y. & Dawalibi F.P.: „Effects of Current Unbalance and Transmission Line Configuration on The Interference Levels Induced on Nearby Pipelines”, CORROSION 2004, NACE International Conference, New Orleans, USA, March 28 - April 1, 2004.
- [31]. IEEE Std. 81: „IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Ground System”, IEEE Standards Board, ISBN : 0-7381-0660-7, 1983.