

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 IV / 2013

**Dezvoltarea și implementarea unor dispozitive
de drenare controlată a curenților de dispersie induși
pentru protejarea și îmbunătățirea protecției catodice
a conductelor metalice subterane cu traseu comun cu o LEA**

Data predării: Noiembrie 2013

COLECTIV CERCETARE

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

Ș.l. dr. ing. Denisa ȘTEȚ

Ș.l. dr. ing. Adina RĂCĂȘAN

Dr. ing. Levente CZUMBIL

Cuprinsul raportului anual de activitate IV (Ianuarie – Noiembrie 2013)

IV.1. Monitorizarea fenomenului de coroziune. Coroziunea sub curent alternativ a sistemelor de conducte de transport gaze naturale protejate catodic. Identificarea prin măsurători on-line a curenților de dispersie, care pot accelera coroziunea conductelor metalice.

IV.2. Principii de proiectare a unui dispozitiv de drenare a curenților de dispersie. Criterii de eficiență a dispozitivului. Descrierea dispozitivului de drenare a curenților de dispersie proiectat – DDCD. Testări și simulări funcționale ale dispozitivului – condiții de laborator.

IV.3. Punerea în evidență a eficienței dispozitivului. Tehnici de măsurare in-situ. Testarea in-situ a dispozitivului de drenare a curenților de dispersie. Studiu de caz S.P.C. Saun. Studiu de caz S.P.C. Mihai Bravu.

IV.4. Procedeu de predicție și monitorizare a coroziunii conductelor metalice subterane.

IV.5. Bibliografie

IV.1 Monitorizarea fenomenului de coroziune

Coroziunea sub curent alternativ a sistemelor de conducte de transport gaze naturale protejate catodic

Pe lângă inducția în curent alternativ care are un efect coroziv asupra conductelor izolate metalice, montate îngropat, apar și curenți între conductele izolate, curenți care se numesc curenți de schimb. Oricât de bine izolate ar fi conductele, la montarea acestora în sol, apar defecte la izolație. Datorită potențialelor diferite la care se găsesc conductele metalice izolate aflate sub protecție catodică, peste care se suprapun tensiuni induse provenite de la LEA, determină ca în cazul existenței unor defecte în izolațiile sistemelor de conducte să apară curenți de schimb [IV.1].

Amplitudinea acestor curenți depinde de: calitatea izolației conductelor; distanța dintre liniile conducte; rezistivitatea solului; potențialul conductelor influențate de liniile electrice aeriene; distanța față de stația de protecție catodică sau de sistemul de protecție catodică; calitatea drenajului curenților alternativi induși.

S-a realizat o modelare a unui sistem de conducte protejate catodic [IV.2] (în care sunt simulate o serie de defecte), aflate sub influența LEA, reprezentat în figura IV-1:

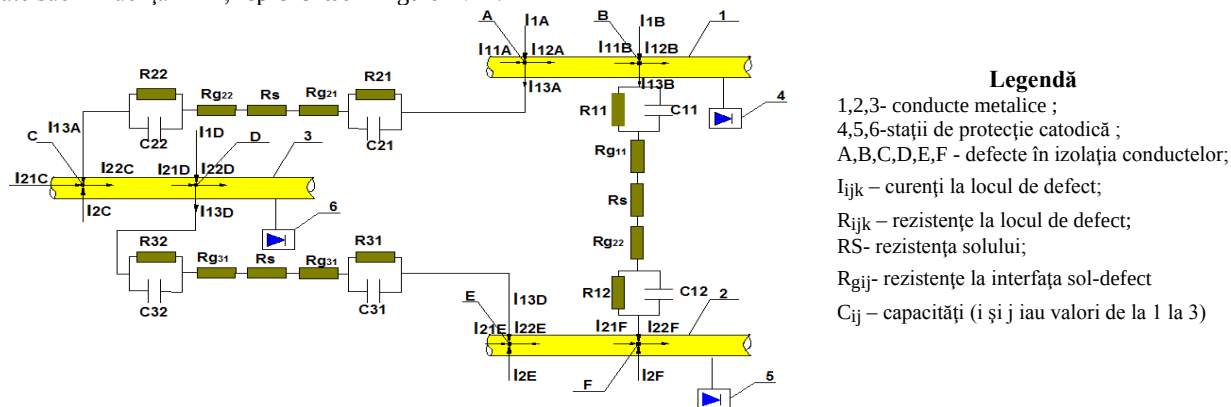


Figura IV-1. Modelarea curenților de schimb la un sistem de conducte protejate catodic

În general un defect de izolație se poate modela ca o rezistență montată în paralel cu un condensator. Un exemplu, în figura IV.1 este acela că la defectul notat cu A, simularea unui defect este dat de grupul $R_{21}-C_{21}$. Dacă este să ne referim la potențialul E_{OFF} , un exemplu, este dat de căderea de tensiune pe grupul $R_{21}-C_{21}$, de curentul I_{13A} , iar E_{ON} este dat de căderea de tensiune pe grupul $R_{21}-C_{21}$ la care se adaugă cădere de tensiune pe R_{g21} .

Curentul de schimb între conducta 1 și 3 este I_{13A} , între conducta 3 și 2 de I_{13D} , iar între 1 și 2 de curentul I_{13B} .

Se poate aprecia că valorile lui C_{ij} sunt de ordinul 10 – 300 mF, iar ale rezistențelor R_{ij} sunt de ordinul 1-1000 Ω . Aceste valori sunt în această plajă largă, datorită formării de pelicule calco-magneziene la locul de defect după un timp de la funcționarea protecției catodice. Fenomenele distructive produse de curenții de dispersie generați de LEA, asupra izolației și a materialului tubular al conductei îngropate, sunt bine documentate în literatura de specialitate [IV.3, IV.4]. În acest raport, se vor prezenta studiile efectuate privind posibilitățile de drenare cu dispozitive electronice de concepție originală, rezultatele măsurătorilor fiind puse în evidență cu ajutorul unui osciloscop digital portabil.

Identificarea prin măsurători on-line a curenților de dispersie, care pot accelera coroziunea conductelor metalice

Prin stațiile de protecție catodică se injectează un curent de anulare a efectului coroziv într-o conductă de transport gaze naturale montate subteran. În urma injectiei de curent prin priza anodică, în conductă apare un potențial măsurat în dreptul prizei de potențial din dreptul stației de protecție catodică având forma din figura IV-2a. La o distanță de aproximativ 1 km de punctul de injecție al curentului de protecție catodică, potențialul conductei are tendința să se transforme dintr-un semnal pulsatoriu, într-unul continuu, ca în figura IV-2b:

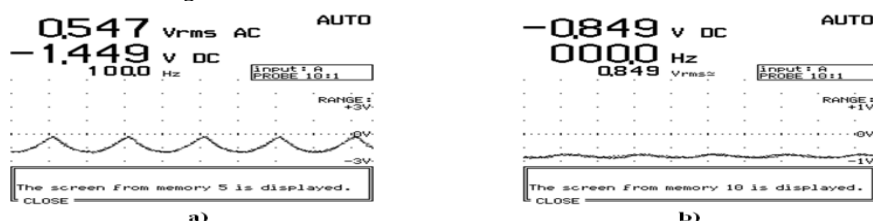


Figura IV-2: Potențialul conductă-sol măsurat: a) în dreptul unei stații de protecție catodică; b) la aproximativ 1 km distanță

Potențialele notate cu E_{ON} sunt măsurate cu stația de protecție catodică pornită. Ceea ce este de remarcat la cele două forme de undă, este faptul că la aproximativ 1 km de punctul de injecție, potențialul E_{ON} al conductei a scăzut la valori la care protecția catodică nu mai este asigurată, în conductă inițiindu-se un proces de coroziune. Acesta este o modalitate practică de a evidenția slaba calitate a izolației unei conducte. În acest caz este recomandată investigarea defectelor de izolație, cu metode de investigare de la suprafața solului, CIPS și DCVG (Raport TE_253_2012) [IV.7, IV.10].

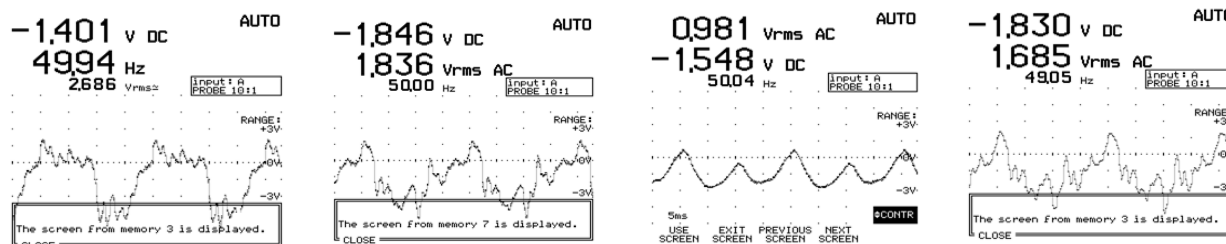


Figura IV-3: Potențiale conductă-sol pe conducte de transport gaze naturale aflate sub influența curenților alternativi produși de liniile electrice din imediata vecinătate

IV.2 Principii de proiectare a unui dispozitiv de drenare a curenților de dispersie

Criterii de eficiență a dispozitivului

Concepția, funcționalitatea și eficiența dispozitivului de drenare propus vor ține cont de câteva principii restrictive (care nu apar în literatura de specialitate) având în vedere complexitatea fenomenului de coroziune în ansamblul ei:

1. Desprinderea izolației de pe conducta metalică poate să apară la valori ale tensiunii induse mai mari de 1230 mV, potențial E_{IRfree} , deci amplitudinea potențialului conductă-sol ar trebui limitată sub această valoare;
2. Trebuie drenată obligatoriu alternanța pozitivă a semnalului alternativ indus în sistemele de conducte;
3. Alternanța negativă a semnalului indus în sol va fi utilizată pentru protejarea catodică a conductei, iar spike-urile acestea vor fi limitate la valoarea de -1230 mV;
4. Respectarea obligatorie a cerințelor privind criteriile de coroziune sub curent alternativ impuse de SR EN 15280-2011 (10 V la peste 25 $\Omega \cdot m$; 4 V la sub 25 $\Omega \cdot m$) [IV.8].

Descrierea dispozitivului de drenare a curenților de dispersie proiectat – DDCD

Dispozitivul de drenaj va proteja orice conductă aflată în apropierea LEA, inclusiv la un defect monofazat (căderea accidentală a unei faze la pământ); fiind posibilă apariția unei supratensiuni induse în conductă, timpul de răspuns al dispozitivului este mai mic de 0.1 sec. Dispozitivele de drenaj testate au dovedit o eficiență remarcabilă bine pusă în valoare de către măsurători. Dacă priza de pământare are rezistențe de dispersie la valori de $< 4 \Omega$, se poate afirma că numai utilizând aceste dispozitive se poate proteja catodic o conductă care are traseu comun cu o linie electrică aeriană cu tensiuni mai mari de 20 kV. Un alt avantaj al dispozitivului este faptul că nu mai trebuie păstrată o distanță minimă de protecție între LEA și conductele îngropate.

Acest dispozitiv a fost conceput în colaborare cu Laboratorul de Diagnosticare Conducte (SNTGN Transgaz SA) în urma unor multiple simulări în laborator și teste *in situ*, inclusiv pentru reducerea dimensiunilor și pregătirea lui pentru funcționare în medii cu pericol de explozie.

Pe plan național, sunt cunoscute o serie de dispozitive care limitează amplitudinea alternanței pozitive a tensiunii alternative induse în conductă, la valori acceptabile din punct de vedere al comportării în timp al izolațiilor. Dezavantajul acestora este acela că amplitudinea alternanței negative nu este limitată la un nivel acceptabil, care să nu dăuneze izolațiilor aplicate pe conductele îngropate. Potențiale a căror valori efective sunt mai negative de -1100 mV, măsurate prin intermediul electrodului de $Cu/CuSO_4$, dăunează izolațiilor aplicate pe conducte ducând la desprinderea catodică.

Pe plan internațional există o serie de dispozitive care drenează curenții de dispersie induși în conductele subterane, fără a fi disponibile informații cu privire la nivelul limitării potențialelor instantanee. Este de asemenea cunoscut că toate aceste dispozitive nu sunt utilizate pentru protejarea catodică a CM izolate, montate îngropat, rolul lor fiind de diminuare a influenței curenților induși sau de protejare a conductelor la supratensiuni instantanee apărute datorită unui defect pe LEA.

Dezavantajul acestor dispozitive este gabaritul mărit, lipsa controlului privind potențialul de protecție catodică (potențial IR_{free} care trebuie să fie cuprins între -850 mV și -1100 mV), precum și faptul că izolația nu este protejată la supra-protecție catodică [IV.9].

Dispozitivul propus este destinat protecției catodice a CM montate îngropat și izolate la exterior, care prin drenarea controlată a curenților de dispersie induși de liniile electrice aeriene, cu tensiunea ≥ 110 kV, aflate la mai puțin de 100 m de conducte, asigură atât încadrarea în parametrii corespunzători din punct de vedere al protecției catodice (eliminand supra-protecția catodică), cât și protejarea izolației conductei. Dispozitivul asigură limitarea potențialului conductă – sol, măsurat prin intermediul electrodului nepolarizabil $Cu/CuSO_4$, la o valoare minimă $IR_{free} = -1100$ mV; datorită gabaritului mic montarea se va face între conductă și orice priză de pământare cu rezistența de dispersie $< 2 \Omega$. Ca dezavantaj principal: în cazul apariției unor curenți > 25 A dispozitivul se defectează (apariția unor astfel de curenți în conductele de transport gaze naturale ale TRANSGAZ nu a fost încă semnalată).

În figura IV-4a este prezentat un detaliu de execuție a DDCD, iar în figura IV-4b câteva din variantele constructive ale dispozitivului testate.

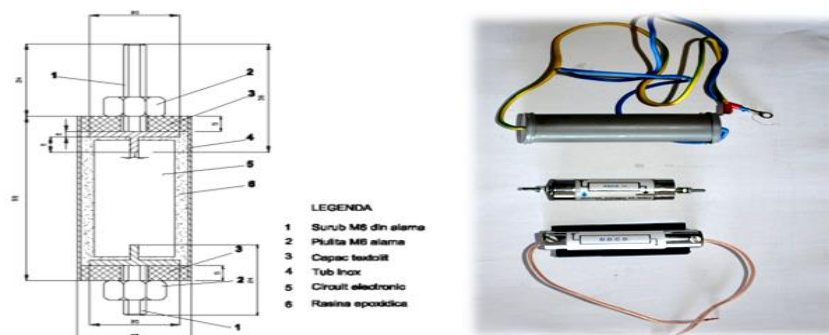


Figura IV-4. Potențiale conductă-sol pe conducte de transport gaze naturale aflate sub influența curenților alternativi produși de liniile electrice din imediata vecinătate

Dispozitivul de drenare este intercalat în circuitul electric între conductă și priza de pământare, așa cum este prezentat în schemă bloc (figura IV-5).

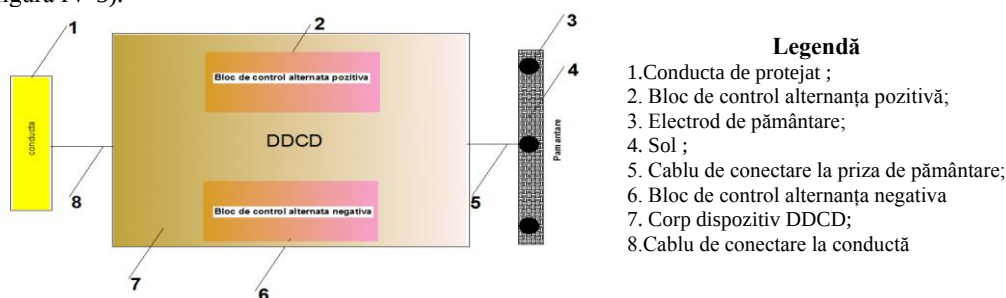


Figura IV-5. Schema electronică monobloc a DDCD și conexiuni externe

Testări și simulări funcționale ale dispozitivului – condiții de laborator

Înainte de verificarea funcționării și eficienței dispozitivului de drenare in situ, acesta a fost testat în laborator. Schema electrică echivalentă a dispozitivului care simulează comportarea în teren este realizată în PSPICE, figura IV-6. La bornele secundarului unui transformator TR1 se leagă blocul capacitiv/rezistiv C_1/R_5 , care simulează un defect de izolație și dispozitivul de drenare, care face legătura cu rezistența R_6 , care simulează rezistența de dispersie a prizei de pământ.

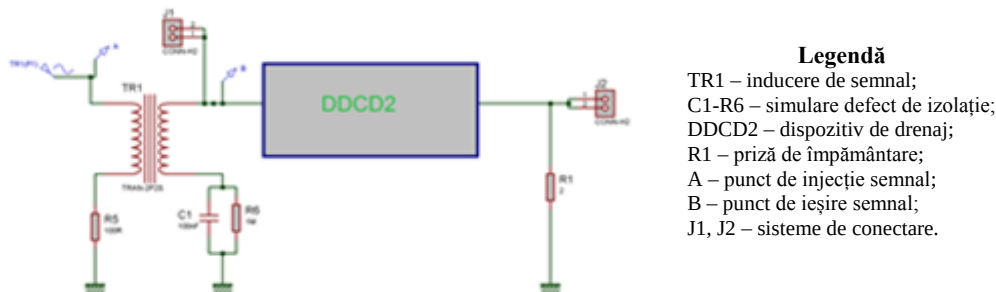


Figura IV-6: Schema de simulare a funcționării dispozitivului

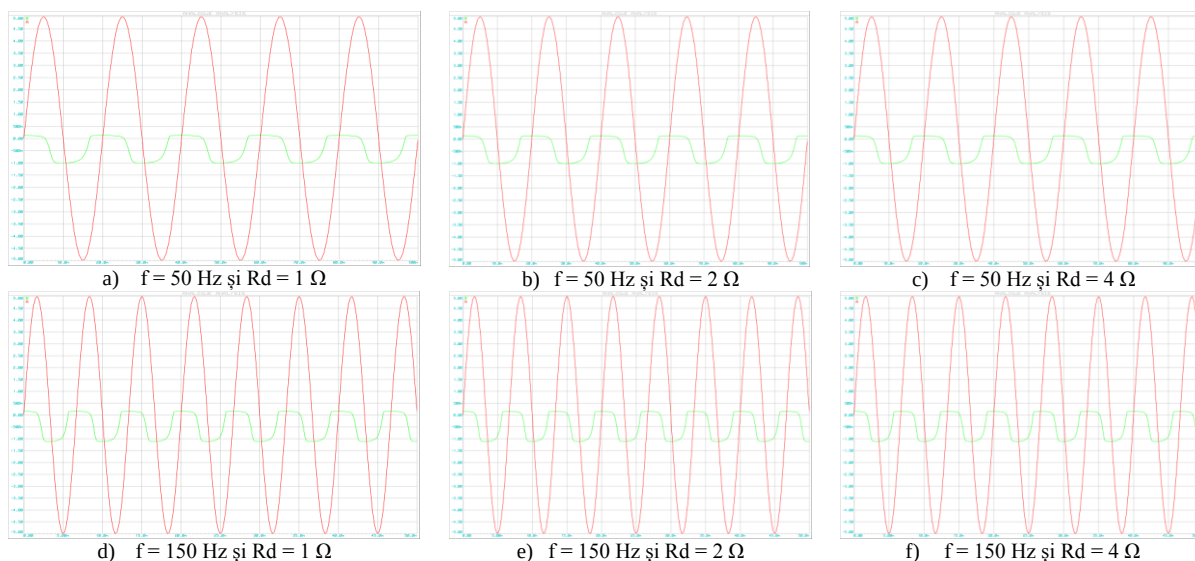


Figura IV-7: Simularea dispozitivului DDCD la diferite frecvențe (f) și variate rezistențe de dispersie (R_d)

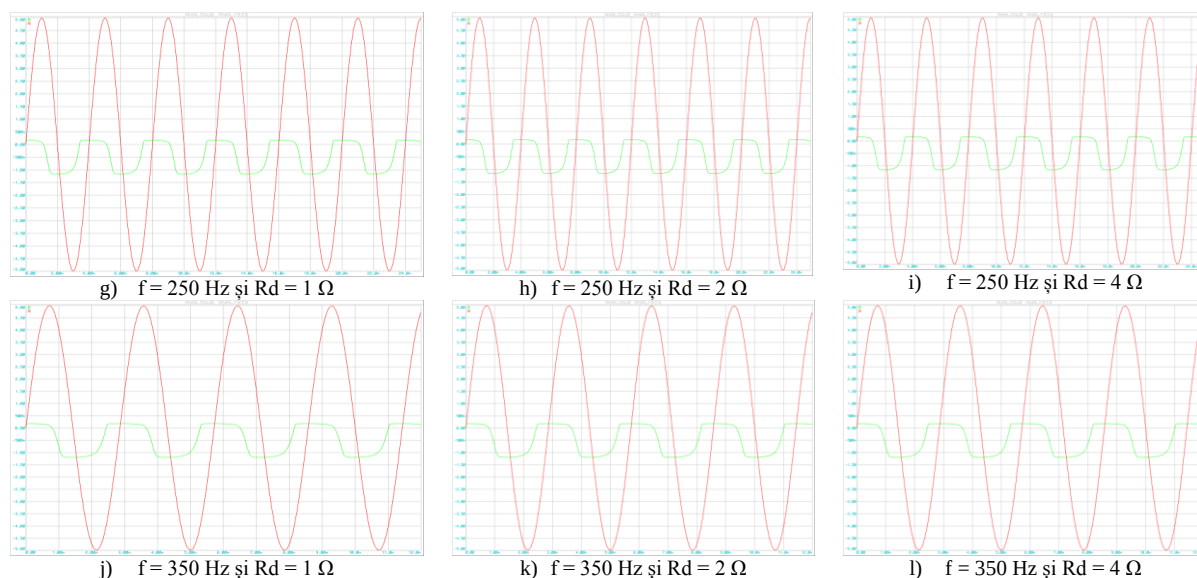


Figura IV-7: Simularea dispozitivului DDCD la diferite frecvențe (f) și variate rezistențe de dispersie (R_d) (Continuare)

Din analiza acestor grafice, se observă funcționarea corespunzătoare a DDCD la toate frecvențele testate, pentru prize de pământare cu rezistențele cele mai uzuale întâlnite în practică (1, 2 și 4 Ω). Cu roșu se reprezintă frecvența inițială, iar cu verde se reprezintă semnalul după montarea DDCD pe o conductă.

Se observă că: semialternanța pozitivă este redusă până la amplitudini maxime de 0,28 V; semialternanța negativă este redusă la valori maxime de -1,1 V (valoarea critică a potențialului de protecție catodică a conductelor); dispozitivul funcționează corespunzător inclusiv până la armonica a 7-a (350 Hz); simularea s-a realizat pentru vârfuri de până la 5 V (10 V_{vv}), maxim regăsit *in situ* pe conductele de transport.

IV.3 Punerea în evidență a eficienței dispozitivului

Tehnici de măsurare *in situ*

Chiar dacă simulările au dovedit o funcționare corespunzătoare a dispozitivului, pentru a dovedi eficiența practică s-a realizat și o analiză *in situ* a dispozitivului în două etape:

- montarea dispozitivului pe o conductă de transport gaze naturale și injecție de semnal alternativ de diferite frecvențe cu aparatură dedicată;
- montarea dispozitivului pe o conductă pe care s-au determinat curenți de dispersie alternativi și testarea eficienței acestuia.

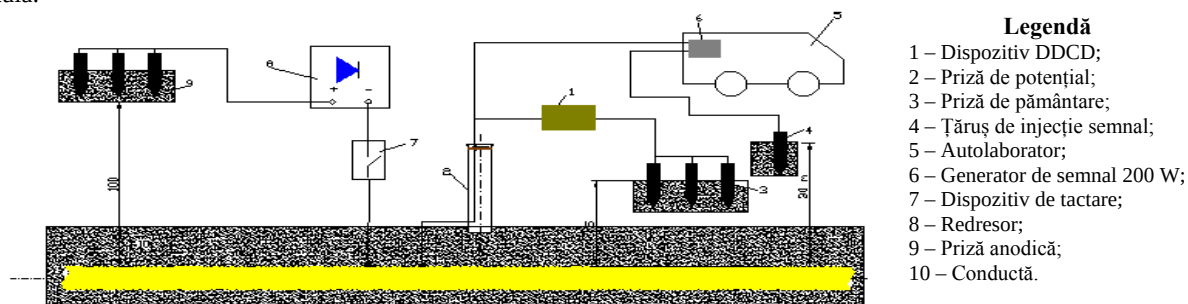


Figura IV-8: Testarea *on-site* a dispozitivului DDCD prin injecție forțată de semnal

Injecția de semnal a fost asigurată de un generator de semnal cu o putere de 200 W care asigură ca indiferent de calitatea izolației conductei, semnalul injectat să fie suficient de puternic pentru a asigura o testare la amplitudini mari a dispozitivului.

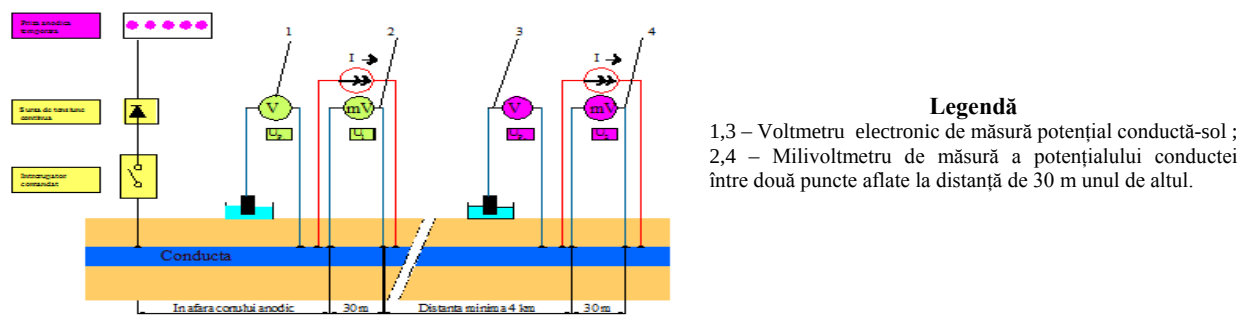


Figura IV-9: Testarea *on-site* a dispozitivului DDCD prin injecție forțată de semnal

În etapa a doua a măsurărilor on-site pentru testarea eficienței dispozitivelor de tip DDCCD, s-au analizat curenții de dispersie care apar pe o serie de conducte de transport gaze naturale, aflate sub influența LEA (cazuri practice). Dispozitivul s-a montat la prizele de potențial între conductă și o priză de pământare, figura IV-10.

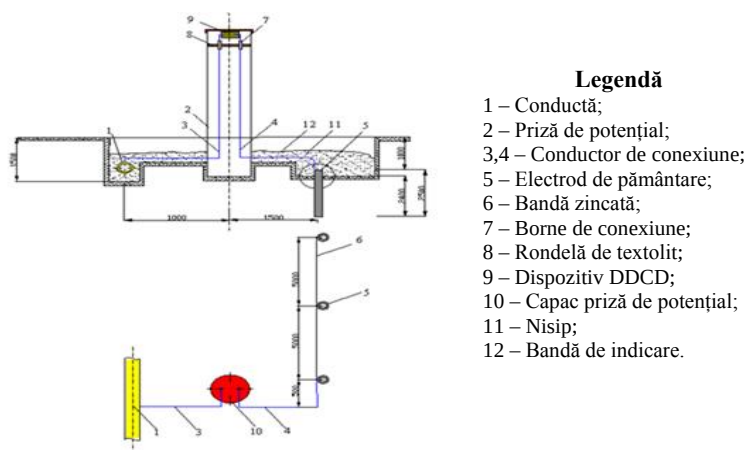


Figura IV-10: Testarea on-site a dispozitivului DDCCD prin injecție forțată de semnal

Testarea in situ a dispozitivului de drenare a curenților de dispersie

Pentru punerea în evidență a eficienței dispozitivului, s-a realizat o interpretare a măsurărilor efectuate pe un caz practic - un sistem de conducte paralele cu o LEA de 400 kV, cu sau fără influența curenților de dispersie alternativă figura II.7: Conducta Tranzit 2 (T2) - 1200 mm – izolație cu bitum foarte întărită – anul punerii în funcțiune 1988 – grosimi de perete 14,3 mm și 17,3 mm; Conducta Tranzit 3 (T3) - 1200 mm – izolație cu bitum foarte întărită – anul punerii în funcțiune 2001 – grosimi de perete 14 mm, 17 mm și 22 mm. [IV.11, IV.12].

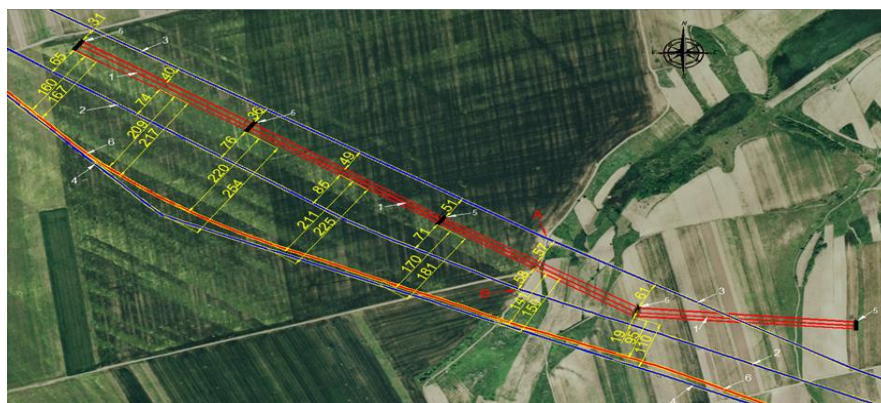


Figura IV-11: Tronsonul comun de distribuție LEA IT – CM subterane

Situația existentă în momentul măsurărilor a permis folosirea tuturor stațiilor de protecție catodică de pe întreg traseul. S-au măsurat potențialele naturale conductă-sol pe întreg sistemul de conducte paralele, potențialele On și Off pe întregul sistem în momentul tactării stațiilor de protecție catodică de pe T3 (cuplarea stațiilor 12 secunde în On și 3 secunde în Off).

S-au realizat analizele influențelor paralelismului în dreptul fiecărei stații de protecție catodică unde circulația de curenți între conducte este mai mare. S-a analizat și modul în care pornirea unei stații de protecție catodică influențează conductele paralele din apropiere.

Potențialele conductă-sol, măsurate cu osciloscopul catodic la locația aleasă sunt prezentate în figurile IV-12a și IV-12b:

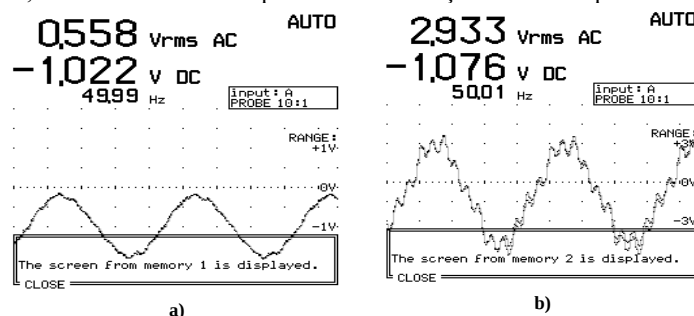


Figura IV-12: Potențial conductă-sol pe conductă a) T2, respectiv b) T3

Se poate observa prezența pe cele două conducte a unor curenți de dispersie alternativă la frecvența de 50 Hz, pe conductă T3 apar spike-uri de ordinul a 8 V_{vv} și un Vrms de 2.933 V, spike-uri periculoase de aproximativ 2 V_{vv} sesizându-se și pe conductă T2.

Deși în momentul măsurării, nu existau stații de protecție catodică în imediata apropiere (cele mai apropiate stații erau la aproximativ 8 km distanță), practic potențialele măsurate în c.c. pe cele două conducte erau suficient de apropiate de potențialul de protecție de -1,1 V (potențialele în c.c). Dar prezența curenților de dispersie induși de LEA alterează alura potențialele conductă-sol. În figura IV-12b se poate observa că peste frecvența de 50 Hz, este modulată un semnal de origine necunoscută.

Pentru a observa influența pe care DDCD o are asupra unei conducte pe care există protecție catodică, curenți de dispersie și semnal injectat suplimentar de frecvență cunoscută, s-a integrat pe conducta T2 o stație de protecție catodică cu următoarele caracteristici: tensiune $U=12.6$ V și respectiv curent injectat de 4.8A. Suplimentar din generatorul de semnal s-a injectat un semnal în conducta T2 cu frecvența de 491 Hz la tensiune de 35 V și curent de 2 A care modulează frecvența de 50 Hz a LEA din apropierea conductei, figura IV-13.

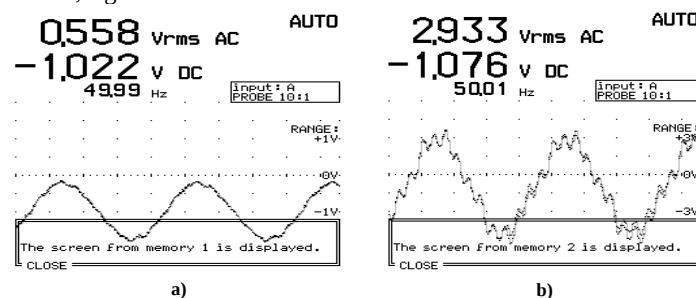


Figura IV-13: Potențial E_{ON} (a), respectiv E_{OFF} (b) pe conducta T2 cu injecție de semnal

În figura IV-14a a fost măsurat potențialul E_{ON} (pe durata celor 12 secunde de pornire a stației de protecție catodică) și apoi cu același osciloscop digital, s-a măsurat și potențialul E_{OFF} pe aceeași conductă. Graficele din figurile IV-13a și IV-13b, respectiv IV-14a și IV-14b au fost obținute fără DDCD montat respectiv cu DDCD montat pe T2.

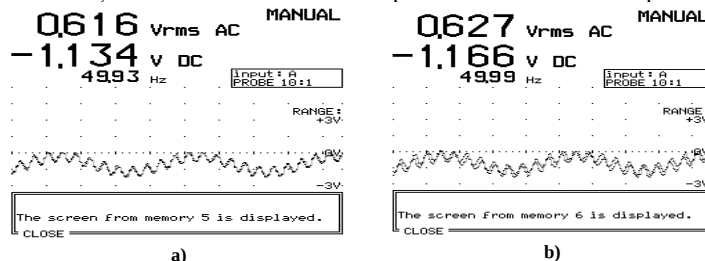


Figura IV-14: Potențial E_{ON} (a), respectiv E_{OFF} (b) pe conducta T2 cu montare DDCD

După montarea dispozitivului DDCD pe conducta T2 apare: modificarea potențialului E_{ON} și a potențialului E_{OFF} al conductei T2 și menținerea lor în parametri corespunzători unei protecții catodice de foarte bună calitate; reducerea amplitudinii potențialului conductei și a spike-urilor la valori la care nu există riscul apariției fenomenului de desprindere catodică; potențialul E_{OFF} este păstrat în condiții optime chiar dacă inițial acesta avea valoarea în c.c de numai -0.606 (a ajuns la valoarea de -1.166 V).

De asemenea s-a montat un dispozitiv cu memorie și pe conducta T2 pentru a observa toate influențele ce apar la măsurători, figura IV-15, influența tactării On/Off a conductei T2 asupra conductei T3 fiind mult diminuată.

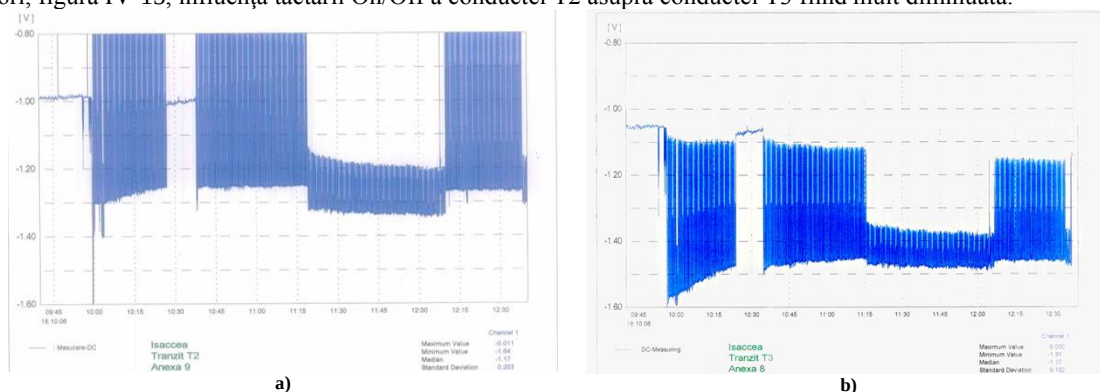
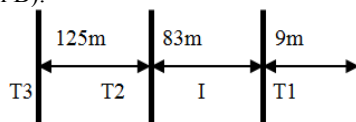


Figura IV-15: Potențial ON/OFF măsurat cu dispozitive de tip Minilog pe conducta T2 (a), respectiv conducta T3 (b)

Studiu de caz S.P.C. Saun

A. Date inițiale: Stațiile de protecție catodică instalate pe conductele Tranzit T1,T2,T3 și Import I; Rezistivitatea solului 44 Ω -m; Potențial natural conductă-sol: T1: -355 mV, T2: -425 mV, T3: -530 mV, I: -384 mV; Schița amplasării conductelor (a se vedea figura IV-11; în dreptul locațiilor A și B):



B. Măsurători: La această locație au fost identificați curenți de dispersie și au fost măsurate potențialele pe conductele T1 și I. Formele de undă în cazul pornirii stației de protecție catodică pe T3 și opririi stațiilor de protecție catodică pe T2, T1 și I sunt prezente în figura IV-16:

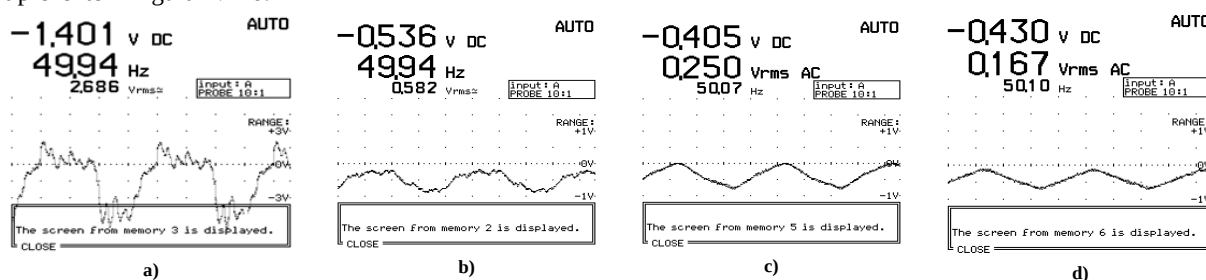
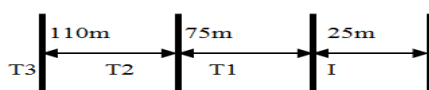


Figura IV-16: a) Potențial E_{ON} pe conducta T3; b) Potențial E_{OFF} pe conducta T2; c) Potențial E_{OFF} pe conducta T1; d) Potențial E_{OFF} pe conducta Import

Studiu de caz S.P.C. Mihai Bravu

A. Date inițiale: Stațiile de protecție catodică instalate pe conductele Tranzit T1, T2, T3 și Import I; Rezistivitatea solului 32 Ω -m; Potențial natural conductă-sol: T1: -291 mV, T2: -344 mV, T3: -592 mV, I: -326 mV; Schița amplasării conductelor:



B. Măsurători: În această locație la pornirea stației de protecție catodică pe conducta T3 și oprirea celorlalte stații s-a constatat că pentru păstrarea unui potențial de E_{OFF} de -1.1 V pe conducta T3, au fost necesari anumiți parametri total diferiți față de alte locații studiate. Tensiunea secundară a redresorului a fost de 16 V și curentul de 18 A, datorită faptului că din modul de amplasare al prizelor anodice ale stațiilor de protecție catodică, există tendința ca stația de protecție catodică de pe conducta T3 să protejeze catodic și celelalte conducte. Dacă se pornesc și celelalte stații de pe conductele paralele care injectează curenți de ordinul amperilor (1.63 A pentru stația de pe conducta T2, 10 A pentru cea de pe conducta T1 și 4.3 A pentru cea de pe conducta de Import), atunci curentul pe conducta T3 scade la 0.55 A.

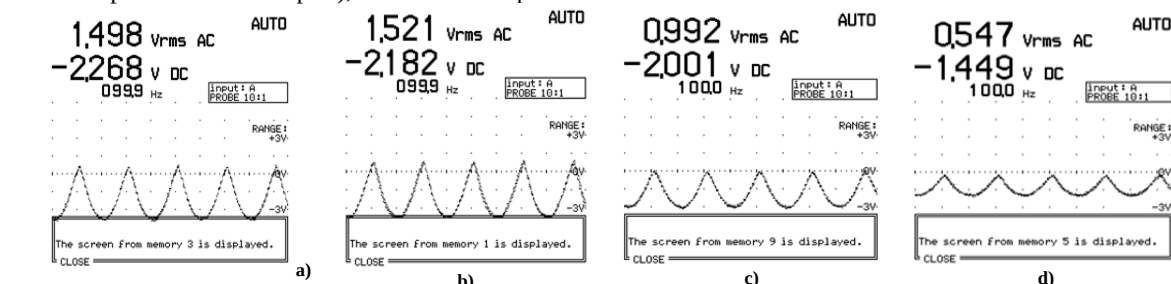


Figura IV-17: Potențial E_{ON} pe conducta T3: a) la punctul de injecție; b) la 20 m de punctul de injecție; c) la 80 m de punctul de injecție; d) la 300 m de punctul de injecție;

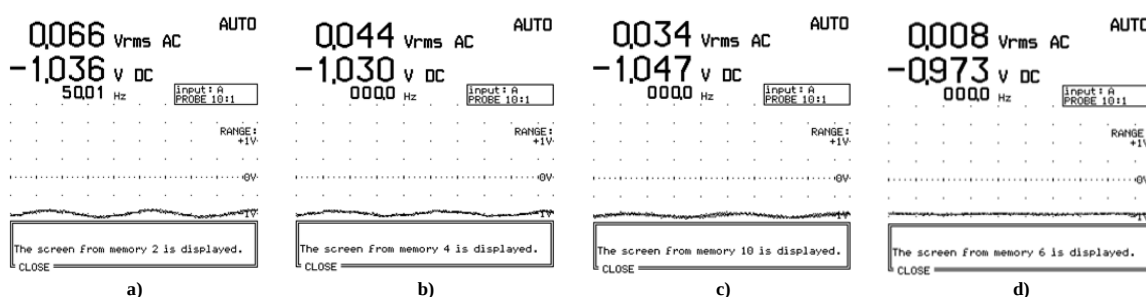


Figura IV-18: Potențial E_{OFF} pe conducta T3: a) la punctul de injecție; b) la 20 m de punctul de injecție; c) la 80 m de punctul de injecție; d) la 300 m de punctul de injecție;

În acest caz nu s-au descoperit curenți de dispersie și în consecință nu există curenți de schimb în c.a., se observă că singura mărime în alternativ este tensiunea injectată de stația de protecție catodică montată pe T3. Forma tensiunii injectate nu este alterată de alți curenți de dispersie alternativi, curenții de schimb fiind minimi și în cazul injectării în curent continuu ei nefiind importanți în acest studiu de caz.

IV.3 Procedeu de predicție și monitorizare a coroziunii conductelor metalice subterane

Măsurarea coroziunii este metoda cantitativă prin care eficacitatea tehnicilor de control și predicție poate fi evaluată și de asemenea oferă feedback-ul care dă posibilitatea optimizării metodelor de control și prevenție a fenomenului de coroziune.

Monitorizarea coroziunii este imperios necesară deoarece rata coroziunii dictează cât timp un proces inițiat poate funcționa cu succes și/sau poate opera în siguranță.

Ca urmare, măsurarea deteriorărilor datorate coroziunii și măsurile luate pentru a remedia această problemă permit alegerea procesului cu cele mai scăzute costuri în ceea ce privește implementarea și asigurarea unei mentenabilități ridicate în funcționare.

Se propune un procedeu de predicție și monitorizare a coroziunii conductelor metalice îngropate denumit **Procedeul PMCSI** (**P**redicție și **M**onitorizare a **C**oroziunii pentru **S**tructurii Metalice **I**ngropate) și se dorește a fi un ghid practic foarte util pentru operatorii din sistem. Poate fi considerat ca un proces menit să ducă la o îmbunătățire a condițiilor în care operează structurile metalice subterane. Poate fi utilizat și pentru stabilirea unor activități de bază în evaluarea unei eventuale coroziuni viitoare chiar și în cazul conductelor care în prezent nu sunt amenințate de fenomenul de coroziune.

Procedeul PMCSI propune o analiză a informațiilor obținute în urma mai multor tipuri de măsurători efectuate la suprafața solului precum și la suprafața conductei, coroborate cu date referitoare la caracteristicile fizice și operaționale ale structurii metalice, toate acestea fiind structurate în patru etape principale (vezi figura IV.19). [IV.13].

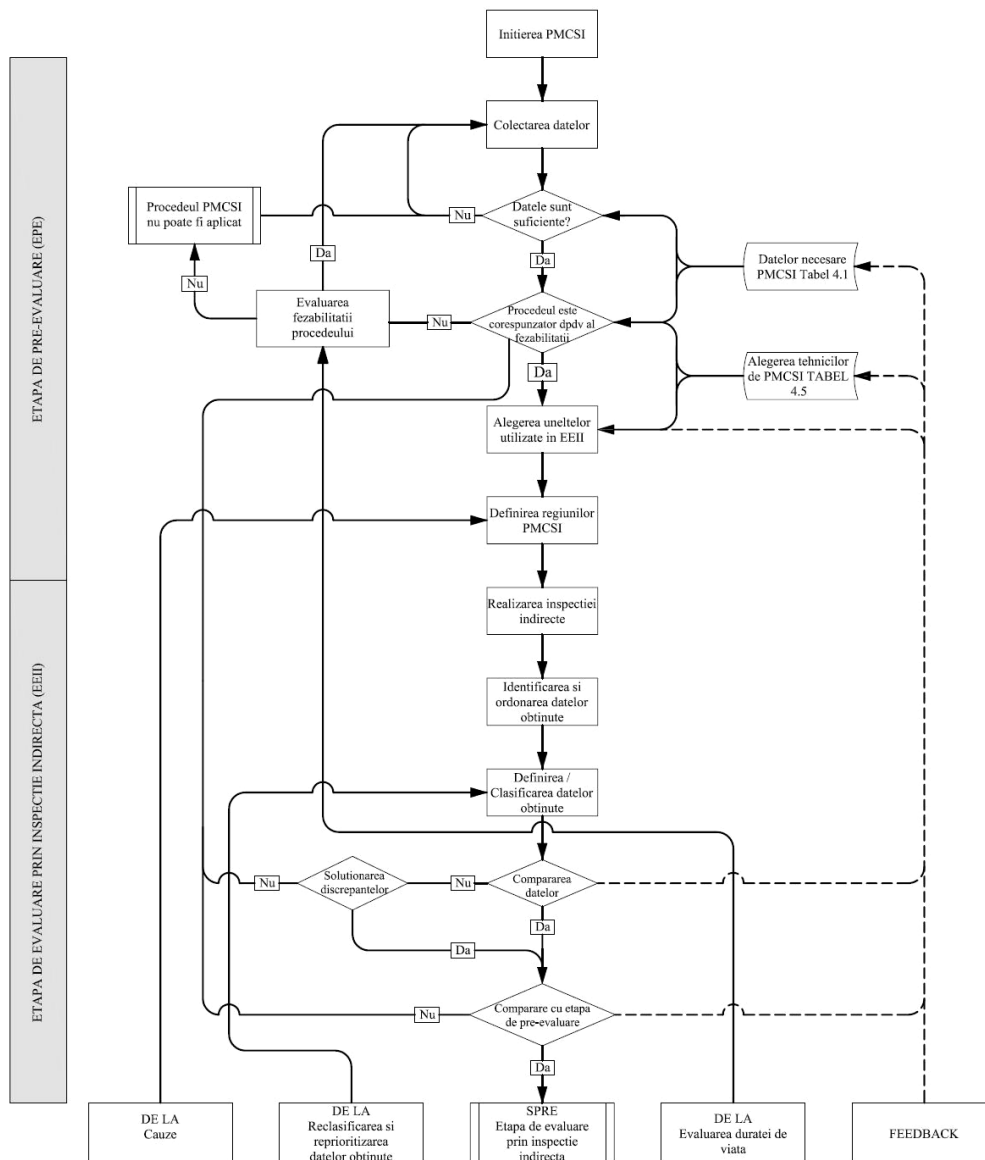


Figura IV-19: Procedeul PMCSI – algoritmul de aplicare

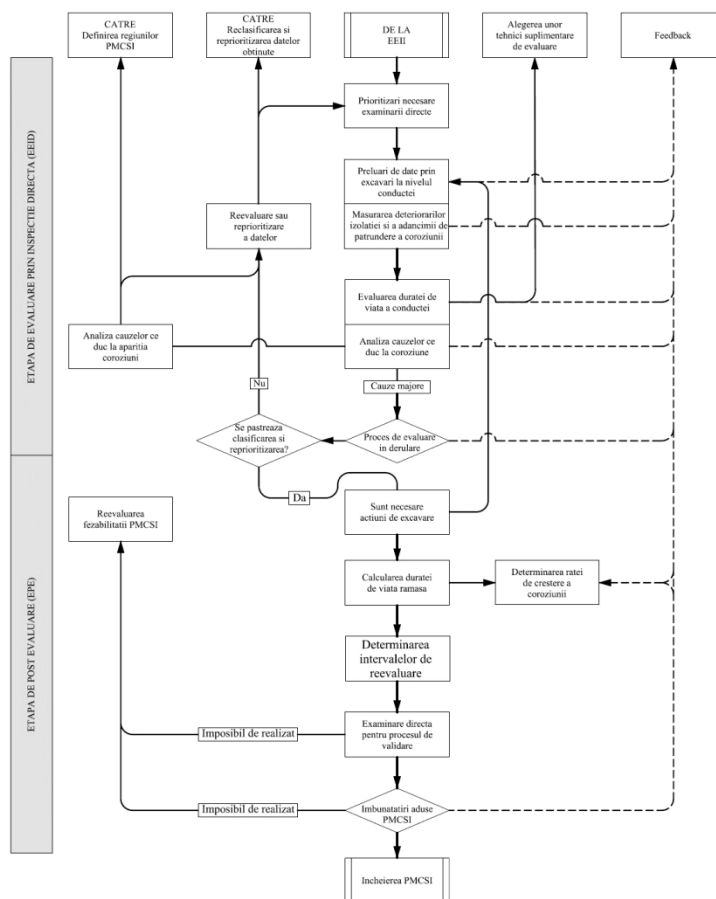


Figura IV-19: Procedul PMCSI – algoritmul de aplicare (Continuare)

IV.5 Bibliografie

- [IV. 1]. Braunstein R., Schmautzer 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.
- [IV. 2]. *** CP2 – *Cathodic protection technician course manual* – Nace International 2007.
- [IV. 3]. Micu D.D., Christoforidis G., Czumbil L., *AC interference on pipelines due to double circuit power lines: A detailed study*, Electric Power System Research, 103, 1-8 <http://dx.doi.org/10.1016/j.epsr.2013.04.008>, 2013.
- [IV. 4]. Braunstein R., Schmautzer 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.
- [IV. 5]. Micu D.D., Șteț D., Răcășan A., Czumbil L., *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*, Raport de activitate I, Contract TE_253/2010.
- [IV. 6]. Micu D.D., Șteț D., Răcășan A., Czumbil L., *Dezvoltarea și implementarea unor tehnici de inteligență artificială pentru rezolvarea problemelor de interferență dintre linii electrice aeriene de înaltă tensiune și conducte metalice de transport gaz. Dezvoltarea unei soluții generalizate*, Raport de activitate II, Contract TE_253/2010.
- [IV. 7]. Micu D.D., Șteț D., Răcășan A., Czumbil L., *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*, Raport de activitate III, Contract TE_253/2010.
- [IV. 8]. *** SR EN 15280-2011. *Evaluation of a.c. corrosion likelihood of buried pipelines applicable to cathodically protected pipelines*, 2011.
- [IV. 9]. *** SR EN 12954 -2002. *Protecția catodică a CM îngropate sau imersate*, 2002.
- [IV. 10]. Ancas L., Micu D.D., Topa V.: *Right of Way - Buried Metallic Pipelines HV-Power Lines. Mitigation Techniques*, 46th International Universities Power Engineering Conference, UPEC 2011, Soest, Germany, 5 Sept – 8 Sept 2011, Proceedings on CD, ISBN 978-0-9565571-1-8, 2011.
- [IV. 11]. Micu D.D., Czumbil L., Christoforidis G., Ceclan A., Stet D., *Evaluation of induced AC voltages in underground metallic pipeline*, COMPEL: The International Journal for Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering, Vol. 31 Iss: 4, pp.1133 – 1143, 2012.
- [IV. 12]. Stet D., Micu D.D., Czumbil L., Darabant L., Ceclan A., *Simulation of interferences between power lines and gas pipelines in unbalanced phase currents state*, COMPEL: The International Journal for Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering, Vol. 31 Iss: 4, pp.1178 – 1189, 2012.
- [IV. 13]. Stet D., Czumbil L., Ancas L., *Investigation of Electromagnetic Interferences Issues*, The 8th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering May 23-25, 2013, Bucharest, Romania, 10.1109/ATEE.2013.6563457, 2013.