

10. Prezentarea proiectului in limba romana: (Max. 10 pagini)

10.1. Importanta si relevanta continutului stiintific

Prezentarea creaza referentialul cercetarii; va demonstra gradul de informare documentare al directorului de proiect

Accelerarea coroziunii conductelor metalice subterane datorita poluarii electromagnetice a solului (totalitatea curentilor care circula prin sol si ale caror linii de curent pot perturba stratul dublu electric aferent sistemului conducta metalica/sol) este factorul determinant in reducerea mentenabilitatii si fiabilitatii structurilor metalice subterane, de unde rezulta ca prin controlul si combaterea acesteia se poate asigura o durata de exploatare crescuta a retelelor metalice de transport si distributie a gazelor naturale, cu toate implicatiile lor sociale, ecologice si economice.

In conditiile tehnice actuale, pe sistemele de transport si distributie a energiei electrice apar diferente de potential la nivelul solului intre diverse puncte geografice si deci apar implicit curentii de dispersie corespunzatori cu un spectru de frecvente foarte larg. In aceste conditii, semnalul electric care apare la interfata metal-sol este foarte complex si este de fapt rezultanta suprapunerii tuturor curentilor de dispersie care circula si se inchid prin sol (proveniti atat de la sistemele alimentate in c.c. cat si din lantul de productie/transport/distributie/utilizare a energiei electrice), dominanta fiind componenta de 50 Hz, care practic este modulata cu celelalte semnale perturbatoare. Se impune deci un studiu complet al acestei poluari electromagnetice si a impactului ei asupra conductelor ingropate.

Studii teoretice privind influenta trecerii unui curent alternativ sinusoidal (nedeformat) prin interfata metal/sol au fost realizate de J Davay (1964) si au demonstrat faptul ca parametrii cinetici ai reactiilor electrochimice sunt influentati de semnale sinusoidale liniare suprapuse. In practica, in special in ultimul deceniu, s-au inregistrat numeroase degradari accelerate de conducte metalice subterane de gaz, datorita curentilor de dispersie in c.a. Aceste semnale electrice care polueaza electromagnetic solul sunt foarte complexe, forma lor putand fi si mult diferita de cea a sinusoidelor (aparitia tiristoarelor de foarte mare putere in actionarile electrice contribuie la cresterea substantiala a neliniaritatii curentilor de dispersie produsti de retelele electrice).

Pondere cea mai mare a cazurilor de coroziune accelerata datorita curentilor de dispersie in c.a. o reprezinta cele cauzate de reseaua de distributie si transport a energiei electrice. Semnalele perturbatoare in c.a. ale reactiilor de coroziune ce au loc la interfata metal/sol pot proveni din retelele de transport si distributie a energiei electrice, atat prin cuplaj inductiv linie electrica-conducta subterana (conducta metalica subterana este pozata in apropierea liniei electrice aeriene) cat si datorita curentilor de dezechilibru (de defect) care circula intre prizele de impamantare aferente sistemului de distributie a energiei electrice (de exemplu curentul de dezechilibru care circula intre prizele de impamantare ale statiei de inalta/medie tensiune si ale postului de transformare medie/joasa tensiune). In majoritatea situatiilor, semnalele in c.a. suprapuse sistemelor metal/sol cresc viteza de coroziune a metalului, chiar daca a fost asigurata protectia catodica; se impune deci luarea unor masuri suplimentare (daca nu avem protectie catodica asistam in scurt timp datorita curentilor de dispersie la perforarea conductei).

Este foarte importanta cunoasterea urmatoarelor doua elemente: amplitudinea (de varf) a semnalului perturbator si valoarea efectiva a semnalului perturbator. Aceste marimi se pot masura cand se analizeaza starea de coroziune a unei conducte in exploatare si factorii acceleratori de coroziune (osciloscop cu memorie direct intre conducta si o sonda de masura plasata in apropierea

acesteia).

Potentialul care se stabileste la interfata conducta metalica/sol furnizeaza informatii privind atat viteza de coroziune a metalului cat si integritatea stratului izolator.

Pentru a realiza protectia impotriva coroziunii in c.a. a conductelor metalice neprevazute cu sistem de protectie catodica, se leaga conductele la prize de impamantare (echipotentializare conducta/sol). Acesta solutie este relativ ieftina, eficienta si suficienta numai in cazul semnalelor de c.a. de amplitudine mica (tensiuni alternative conducta/sol mai mici de 0,2 din tensiunea de varf; apare si cuplajul conductiv conducta-priza). Pentru semnalele de amplitudine mai mare se mai cauta inca solutii. In cazul conductelor metalice prevazute cu protectie catodica, legarea conductei la o priza de impamantare nu este posibila deoarece ar scurtcircuita curentul de protectie, asa ca in acest caz controlul coroziunii se asigura prin implementarea unor dispozitive tip DP care nu perturba in nici un fel functionarea protectiei catodice existente.

In conditiile de dezvoltare tehnologica se doreste asigurarea pe termen lung a unor conditii curate si sigure de munca si viata, deci in fapt asigurarea unei mentenabilitati si sigurante in exploatare corespunzatoare a magistralelor de transport precum si a retelelor de distributie. Studiul interferentei electromagnetice dintre liniile electrice aeriene si conductele metalice subterane cu traseu comun, precum si cazul particular al studiului interferentelor dintre structurile de pamantare ale statiilor si retelele complexe de conducte metalice apropiate, coroborat cu studiul combaterii degradarii acestor retele de conducte din sol constituie o problematica de o complexitate teoretica deosebita si de mare importanta practica.

Rezolvarea problemei electrochimice necesita tehnici experimentale si teoretice specifice studiului proceselor de electrod, in timp ce rezolvarea problemei electrocinetice care apare este o problema fizico-matematica de teoria campului electromagnetic in regim armonic stationar.

In cazul protectiei electrice a retelelor subterane de conducte, solutionarea problemei electrocinetice este foarte importanta. Solul impreuna cu retelele ingropate constituie un conductor masiv, de intindere practic infinita, in care caderile de tensiune de-a lungul conductelor sunt semnificative. Pentru realizarea corecta a protectiei este esential ca valoarea potentialului in fiecare punct al retelei sa se inscrie in limitele in care, pentru metalul si caracteristicile solutiei electrolitice din sol, sa fie asigurata stabilitatea termodinamica a echilibrului metal-solutie. Aceasta implica insa cunoasterea exacta a repartitiei potentialului in functie de conductivitatea mediului si de pozitiile si intensitatile surselor alimentate din exterior.

Modelarea numerica si analitica a situatiilor concrete existente din teren (cuplaje inductive + cuplaje conductive-timp real) reprezinta singura metoda viabila si eficienta de predictie a zonelor de risc cu potentiale periculoase si de analiza a metodelor eficiente de inlaturare a efectelor negative ale acestora. De asemenea, modelele ce urmeaza a fi elaborate vor furniza valori de referinta pentru masuratorile specifice in punctele operationale care pot fi extrem de utile in urmarirea si rezolvarea oricarei posibile anomalii in functionarea corecta a acestora. Din aceste puncte de vedere, dezvoltarea de metode specifice de analiza, instrumente dedicate de modelare, precum si colectarea de informatii necesare pentru identificarea, modelarea si predictia problemelor de interferenta electromagnetica in c.a., reprezinta in prezent o cerinta extrem de importanta. Dezvoltarea si implementarea acestor metode, instrumente si informatii va asigura integritatea in ansamblu a retelei de conducte subterane, avand ca efect siguranta personalului operator in manipularea conductelor si nu in ultimul rand, protectia mediului inconjurator.

Este binecunoscut faptul ca structurile metalice (eg. conductele de transport si distributie de gaz, apa), cablurile de telecomunicatii pot fi foarte aproape sau chiar pot intra in aria unei statii sau substatii electrice. Datorita apropierii dintre structurile mentionate mai sus si instalatiile de

pamantare ale statiilor este necesar sa se tina cont de problemele de interferenta electromagnetica ce pot apare intre cele doua structuri. Este o problema tipica de compatibilitate electromagnetica. Modelarea si simularea fenomenelor de interferenta electromagnetica dintre doua structuri este o tema de cercetare de stringenta actualitate, atat din punct de vedere al activitatii stiintifice propriu-zise aflata in plina expansiune pe plan mondial in zilele noastre, cit si din punct de vedere al implicarii acesteia in efortul general de aliniere a Romaniei la standardele mondiale de calitate. Procesul de modelare in domeniul compatibilitatii electromagnetice presupune stabilirea unei relatii intre o cauza (o sursa de interferenta electromagnetica -EMI) si efectul acesteia (raspunsul unui circuit, care poate fi parte a unei instalatii de mare complexitate). Varietatea larga a problemelor de EMC rezida astfel din multitudinea de categorii de surse EMI identificate pana in prezent.

In particular, in caz de defect monofazat, pe linia electrica in apropierea statiei apar supratensiuni si supratensiuni care se induc in structura victima si pot sa se transfere pe lungimi de sute de Km de-a lungul acestor structuri. În anumite zone, potentialul datorat curentilor indusi produce, printr-un proces de electroliza, corozia conductelor, iar daca nu sunt luate la timp masurile de protectie adecvate, efectele produse sunt rapide si deosebit de grave ca urmare a densitatilor de curent în general mari. Corozia necontrolata a conductelor metalice poate genera, de exemplu, scurgeri de petrol si/sau gaz, cu implicatii deosebit de grave atat din punct de vedere ecologic cat si economic.

In literatura de specialitate se pot intalni o serie de algoritmi de rezolvare a acestor probleme de cuplaje dar sunt destul de restrictivi si nu tin cont de complexitatea geometriei retelelor de conducte sau, de exemplu, fac o serie de aproximari care cresc gradul de particularitate al problemelor. Studiul separat al cuplajului inductiv si al celui conductiv precum si neglijarea influentei retelei de conducte asupra structurilor statiei (structura de pamantare si conductele metalice sunt conectate fizic) sunt alte erori des intalnite in lucrarile studiate.

Abordarea traditionala în analiza campului electromagnetic din jurul conductoarelor cilindrice infinite lungi aflate în vecinatatea unui semispatiu disipativ (pamantul) a fost publicata pentru prima oara, într-o varianta simplificata, la începutul secolului trecut. Cu toate acestea, primele metode analitice elaborate si cunoscute pe plan mondial au fost dezvoltate independent în anii '20 de catre Carson si Pollaczek. De atunci au aparut o serie de îmbunatatiri ale formularii de baza, prin introducerea anumitor prezumtii si restrictii în modelarea fenomenului. Mentionam astfel lucrarile lui Sunde, Wait, Kuester, Olsen, Fraiser, Dawalibi, Lucca.

Curentii longitudinali si transversali, potentialele în sol si campurile magnetice sunt influentate de frecventa, de punctele de injectie ale curentului si de configuratia retelei de conductoare îngropate. Formele analitice ale solutiilor problemelor de camp electromagnetic, legate de conductoarele cilindrice parcurse de curent în prezenta solului, este o problema destul de laborioasa chiar si atunci cand geometria retelei de conductoare este simpla.

Exista dificultati în ceea ce priveste studiul conductoarelor îngropate, cele mai relevante fiind:

- Conductoarele îngropate pot fi lungi sau scurte, dar nu pot fi infinitesimale sau infinite lungi;
- Conductoarele sunt în general izolate (ceea ce anuleaza presupunerea facuta în legatura cu modul de propagare exponential în conductoare) si sunt în contact direct cu pamantul, deci trebuie luati în considerare curentii longitudinali (axiali) si transversali (de scapari);
- Trebuie analizate si conductoarele cu învelis semiizolant, cum sunt si conductele

Cele mai importante rezultate referitoare la retelele de conductoare îngropate sunt legate de campul apropiat generat de aceste conductoare. În cele mai multe cazuri, reseaua de conductoare

din sol este analizata la energizarea cu curenti la frecventa joasa dar apar probleme la studiul performantelor retelei la frecventa înalta sau/si în conditii de regim tranzitoriu. Aceasta analiza consta în rezolvarea ecuatiilor lui Maxwell în spatiul tridimensional neuniform; semispatiul de sus este aerul iar semispatiul de jos, modelat ca un mediu infinit extins, reprezinta solul. Distributia curentilor longitudinali si transversali de-a lungul conductoarelor îngropate poate fi determinata prin segmentarea conductoarelor.

În majoritatea cazurilor practice, conductoarele liniilor de înalta tensiune fac parte din categoria conductoarelor lungi din punct de vedere electric, în vreme ce reseaua conductoarelor subterane va apartine categoriei conductoarelor scurte. Categoria în care se încadreaza liniile si conductele îngropate depinde de tipul problemei considerate, precum si de amplasarea si caracteristicile acestora. În acest studiu se considera un traseu comun format din conductoare lungi si scurte.

În 1995 a fost elaborat, în cadrul CIGRE Working Group 36.02, documentul intitulat *Guide Concerning Influence of High Voltage AC Power Systems on Metallic Pipelines* care abordeaza influenta dispozitivelor energetice de înalta tensiune asupra conductelor metalice aflate în vecinatatea acestora. Acest studiu reprezinta un document de referinta în domeniu si descrie metodele simple de evaluare a fenomenelor de interferenta electromagnetica si metodele de masurare a acestora.

Pe plan international exista disponibile pe piata cateva pachete software de simulare a fenomenelor de interferenta electromagnetica în regim cvasistationar de tip armonic dintre liniile de transmisie de înalta tensiune si conductele metalice subterane, bazate pe metoda de abordare mentionata mai sus. Dintre cele mai cunoscute pachete software de acest tip sunt:

- ECCAPP dezvoltat de catre Electric Power Research Institute si American Gas Association (EPRI/AGA);
- CDEGS dezvoltat de catre Safe Engineering Services (SES);
- CAT.Pro dezvoltat de catre Vrije Unirsitiet Brussels în colaborare cu firma Elsyca.

În conditii de defect, analiza cuplajului inductiv si conductiv, care este o problema mai recenta, nu este înca complet studiata, în primul rand datorita numarului mare de parametri care intervin în procesele fizice. Contributiile de prim rang asupra acestui subiect provin din lucrarile lui Sunde (studiu analitic), Favez si Pohl (studiu experimental).

O cercetare comuna care analizeaza atat cuplajul inductiv cat si cel capacitiv este realizata de SES (Safe Engineering Services) si AGA (American Gas Association). Analiza efectelor conductive este în primul rand experimentală; Farid Dawalibi a introdus o teorie generalizata care studiaza cuplajul conductiv între instalatiile sistemelor de înalta tensiune si structurile metalice îngropate. Mecanismele cuplajului inductiv linie-conducta subterana sunt studiate si de Olsen pentru multe cazuri practice.

Un grup de cercetatori de la Universitatea VUB din Brussels, în colaborare cu firma Elsyca din Brussels, a dezvoltat un model tridimensional de calcul în regim stationar de c.c., capabil a analiza structuri continand retele largi de conductoare subterane; modelul poate evalua inclusiv curentii vagabonzi provenind de la alte sisteme de protectie catodica, respectiv de la sinele de cale ferata. Programul CatPro este foarte flexibil si permite evaluarea unui set foarte mare de parametri electrici (dintre care amintim: valoarea potentialului electric în sol la diferite adancimi) pentru configuratii geometrice arbitrare.

În cadrul contractului bilateral romano-flamand dintre departamentul de Electrotehnica al UTCN si departamentul ETEC al Universitatii VRIJE Brussel, BILA 2001: *Development of methods and tools for analysis of the electromagnetic AC interference between high voltage transmission systems and metallic pipelines*, s-a realizat determinarea unei solutii precise a problemei de camp

si s-a implementat noua solutie fundamentala în metoda elementelor de frontiera. Prin acest pas s-a redus în mod considerabil efortul de calcul prin eliminarea discretizarii interfetei dintre cele doua semispatii, si nu în ultimul rand, s-a obtinut cresterea substantiala a preciziei solutiei numerice.

RIGHT-OF-WAY este un software creat de SES pentru analiza interferentelor electromagnetice dintre liniile de înalta tensiune si instalatiile tehnologice adiacente, cum sunt si conductele îngropate. A fost special creat pentru a simplifica modelarea numerica a configuratiilor complexe ale traseelor comune dintre linie si conducta. Programul poate simula automat defecte pe linia de transmisie la intervale regulate în zona comuna linie – conducta. Cu acest program se pot calcula curentii longitudinali indusi în conducta, curentii injectati în sol, potentialele între diverse puncte, etc.

Software-ul Right-of-Way include modulele TRALIN (Transmission Line Parameters) si SPLITS (Simulation of Power Lines, Interconnections and Terminal Stations). Programul poate genera si structurile victima (sistemul de conducte îngropate) iar cu ajutorul modulului ROWPlot se pot realiza curbele de potential, curentul longitudinal din conducta, curentii injectati în sol. Programul MALZ include ca si intrari sase elemente esentiale:

- configuratia retelei de pamantare;
- modelarea solului în care este plasata reseaua de conducte si prize de impamantare;
- curentii injectati în conducte sau în reseaua de legare la pamant;
- caracteristicile conductelor îngropate;
- frecventa curentului de excitatie;
- locatia unde se doreste determinarea potentialelor la sol precum si calculul campului magnetic în aer

Programul MALZ poate calcula urmatoarele marimi:

- Curentii longitudinali care circula în conducta, cresterile de potential în fiecare segment de conducta;
- Valorile potentialelor la fiecare punct în sol;
- Densitatile de curent indusi în sol;
- Intensitatea campului magnetic în fiecare punct din aer.

Programul HIFREQ calculeaza distributiile curentului în retelele de conducte îngropate sau deasupra solului iar pe baza acestor distributii calculeaza campuri electrice, magnetice si potentiale în aer si sol pentru diverse puncte de observatie. Poate lucra la frecvente care variaza de la 0 la zeci de MHz. HIFREQ poate face aceste calcule pentru conducte îngropate în mediu infinit, în sol uniform sau în sol stratificat. Dupa calculul curentilor în reseaua de conducte, cu ajutorul unor module speciale ale acestui program se poate calcula:

- Campul electric si magnetic (E_x, E_y, E_z); (H_x, H_y, H_z);
- Potentialul electric scalar (V) si potentialul magnetic vector (A_x, A_y, A_z);
- Caderea de tensiune de-a lungul unei cai definite de utilizator.

Programul MALT este utilizat pentru analiza retelelor de prize de impamantare ale statiilor HVAC. Programul permite analiza retelelor îngropate în prezenta unor electrozi sau în cazul unui defect aproape sau chiar în zona statiei, distorsionand destul de mult profilul potentialului la sol

10.2. Obiectivele proiectului

(se specifica clar obiectivele proiectului in contextul stadiului cunoasterii in domeniu, elementele originale vizate si importanta pentru domeniu, impactul estimat al proiectului;

daca este cazul se va face referire la caracterul interdisciplinar)

In proiect se doreste determinarea unui algoritm numeric precis de calcul al tensiunilor si curentilor care se pot induce într-o retea complexa de conducte metalice subterane localizate în apropierea unei statii electrice de transformare. Analiza acestei probleme se realizeaza la frecventa de 50 Hz si în conditii de defect monofazat pe linia care intra în statie, tinand cont de existenta cuplajului inductiv produs de curentul care circula prin linia electrica care intra în statie si cuplajului conductiv produs de curentul de dezechilibru (de defect) injectat în sol care circula prin prizele de impamantare aferent sistemului de distributie a energiei electrice.

Algoritmul de calcul poate fi divizat în urmatoarele etape:

- Calculul campului inductor;
- Calculul tensiunii electromotoare longitudinale si a curentului transversal care reprezinta influenta electromagnetica produsa de sursa (linia electrica) asupra victimei (retea de conducte metalice);
- Modelarea retelei de conducte metalice si prize de impamantare prin intermediul unui circuit electric echivalent;
- Calculul tensiunilor si curentilor indusi în retea de conducte metalice.

In proiect se va lucra cu aproximatia: regim cvasistationar armonic, care este in general valabil la frecventa industriala (50 Hz), acest lucru permitand calculul separat intr-un prim pas a **campului electric inductor** reprezentat de:

- **componenta inductiva a campului electric** produs de *curentul de defect la sol* care circula prin faza defecta a liniei electrice (aceasta componenta este responsabila de cuplajul inductiv dintre linia electrica si retea de conducte metalice);
- **potentialul la sol** produs de *curentul de defect la sol* injectat în pamant prin prizele de impamantare ale retelei de legare la sol a statiei (acest potential este responsabil de cuplajul conductiv cu retea de conducte metalice).

Este important de remarcat ca termenul *curent de defect la sol* arata de fapt ca doar o parte a curentului de defect se întoarce prin sol, depinzand de caracteristicile sistemului de legare la pamant. In calculul componentei inductive a campului electric apar unele probleme matematice legate de calculul integralelor Carson (integrale semiinfinite Sommerfeld) care au fost aduse la o anumita forma analitica in teza de doctorat a domnului Dan Doru MICU (membru in echipa de cercetare), dar la care se mai poate lucra avand urmatoarele sub-obiective:

- Propunerea unor evaluari analitice si numerice mai simple si mai precise a integralei Carson sol utilizand dezvoltari în serie si analiza integralei ca functie de parametru
- Demonstrarea necesitatii existentei unor termeni aditionali (datorita prezentei solului) care nu apar în toate formulele din literatura de specialitate

Rezolvarea teoretica a problemei de interferenta se va continua prin determinarea, intr-un limbaj matematic avansat, a unei solutii analitice stabile pentru expresia densitatii curentului indus în sol si pentru pierderile de putere în sol, utilizand configuratia Carson; se va elabora si un model numeric diferential pentru calculul tensiunii induse în conducta amplasata in apropierea unei statii electrice si legata galvanic de instalatia de pamantare a statiei.

Se doreste crearea unui model complet fizico-matematic pentru calculul experimental al tensiunii induse într-o conducta, a tensiunilor fata de pamant ale conductelor îngropate, a curentilor de conductie care circula în conducta datorita tensiunilor electromotoare longitudinale induse si distributiile curentilor indusi în sol pentru un caz real, în conditii normale si în conditii de defect a liniei (curentul de defect care se scurge prin instalatia de pamantare a statiei si care devine

element inductor pentru conducta din vecinatate) care intra in statie. Se va insista pe construirea unui model real al cuplajului inductiv linie-conducta subterana precum si priza de impamantare-conducta invecinata, în care se va considera conducta îngropata ca o linie electrica cu pierderi, cu o sursa de tensiune distribuita care apare datorita cuplajului electromagnetic, tratandu-se diverse cazuri speciale ale analizei generale pentru calculele curenților si tensiunilor induse, punand accent pe caracteristici speciale ale cuplajului inductiv si conductiv. In teza de doctorat deja amintita s-a luat in calcul numai cuplajul inductiv, considerandu-se instalatia de pamantare a statiei foarte departe de conducta tehnologica.

Se va realiza si o verificare obiectiva a calitatii izolatiei conductelor îngropate cu traseu comun cu LEA utilizand statii mobile de protectie catodica (Transgaz S.A. Medias) si se va face o comparatie a datelor masurate (pentru un caz real de conducta subterana in apropierea unei statii electrice si legata galvanic de prizele instalatiei de pamantare a statiei) si a celor calculate pe baza modelului matematic real creat.

În comparatie cu metodele clasice de abordare a acestei categorii de probleme, se estimeaza obtinerea unor îmbunatatiri prin:

- Crearea unui **model fizico-matematic generalizat** pentru estimarea cu o mai buna precizie a efectelor cuplajelor inductive si conductive in timp real în regim armonic permanent dintre orice retea de conducte metalice subterane aflate in apropierea unei statii electrice in care apare un defect monofazat pe o linie care intra in statie; reseaua complexa de conducte este legata galvanic de instalatia de pamantare a statiei. Aceste **modele matematice echivalente de simulare a cuplajelor inductive si conductive** pot stabili punctele de risc și pot introduce si dispozitivele electromagnetice de protectie catodica, respectiv impotriva electrocutarii. Prin aceasta se va asigura integritatea în ansamblu a rețelei de conducte subterane, având ca efect siguranta personalului operator în manipularea conductelor si nu in ultimul rand, protectia mediului inconjurator în fata unor dezaastre ecologice datorate coroziunii.

- Abordarea problemei de determinare a potentialului indus intr-o conducta subterana, printr-o metoda specifica de sinteza, care implica o formulare inversa a problemei de camp, in sensul ca se va considera un domeniu, mai intai plan, iar apoi spatial, cu conditiile de frontiera partial cunoscute (din sursele de curent prin linia electrica aeriana, si masuratori de camp sau potential). Se va urmări identificarea potentialului magnetic vector, indus in conducta inaccesibila. Metoda numerica care se va aplica primeste un context original: sinteza potentialului prin metoda Monte Carlo, aspect putin studiat in literatura de specialitate, in care doar problemele de analiza sunt tratate cu aceasta metoda.

- In procedurile mai vechi, dupa astuparea cu pamant a santurilor in care s-au instalat conductele, verificarea rezistentei electrice a izolatiei se realiza prin testari empirice, de-a lungul conductei fiind instalate prize pentru determinarea potentialului conducta-sol la distante specifice (STAS 7335/8-85) fata de sursa de injectie a curentului catodic. Cu ajutorului **Laboratorului de Diagnosticare al conductelor** din cadrul Transgaz S.A. Medias se va realiza o **verificare obiectiva a calitatii izolatiei unei conducte de gaz** (care este pozata foarte aproape de o statie electrica si este legata galvanic da instalatia de pamantare a statiei) cu ajutorul unei aparaturi complexe si performante (statii mobile de protectie catodica) masurandu-se **potentialele induse conducta-sol** si apoi pe baza modelului fizico-matematic determinat se vor compara datele masurate cu datele obtinute din modelul electric echivalent linie-conducta si conducta-priza de impamantare, realizat pe parcursul etapelor proiectului.

- Determinarea cu mai mare precizie, pe baza modelelor reale de circuite echivalente create, a tensiunilor induse in conducta, a potentialelor locale dintre conducta si sol, a tensiunilor

de atingere; distributia de potential în orice punct din sol precum si pe suprafata pamantului; curentii de conductie în lungul conductelor; densitatile curentilor de dispersie la suprafata de separatie conducta metalica-sol;

- Rezultatele teoretice obtinute pe baza modelului matematic creat vor fi comparate cu rezultatele experimentale utilizand o scala redusa la modelele reale. Se doreste crearea unui soft (mai ieftin, precis si mai usor de manipulat) pe baza algoritmilor de calcul si modelelor matematice care vor fi determinate, pentru a permite analiza retelelor complexe de conducte îngropate în prezenta unor electrozi sau în cazul unui defect aproape sau chiar în zona statiei, distorsionand destul de mult profilul potentialului la sol.

- Pentru a realiza protectia impotriva coroziunii in c.a. a conductelor metalice neprevazute cu sistem de protectie catodica, se leaga conductele la prize de impamantare (echipotentializare conducta/sol). Acesta solutie este relativ ieftina, eficienta si suficienta numai in cazul semnalelor de c.a. de amplitudine mica (tensiuni alternative conducta/sol mai mici de 0,2 din tensiunea de varf; apare si cuplajul conductiv conducta-priza) deci pentru semnalele de amplitudine mai mare se vor propune solutii

- In literatura de specialitate se pot intalni o serie de algoritmi de rezolvare a acestor probleme de cuplaje, dar care sunt destul de restrictivi si considera retele simple de conducte. In proiect vor fi studiate si retele de conducte cu geometrie complexa si se va studia caracterul general al problemelor fara o serie de aproximari utilizate in literatura de specialitate, care cresc gradul de particularitate al problemelor.

10.3. Metodologia cercetarii

Probleme punctuale care se vor urmari pe parcursul elaborarii proiectului sunt:

1. Este foarte important ca deja la nivelul de proiectare a unei noi instalatii (inductoare de perturbatii sau victima a perturbatiilor induse) sa se poate estima tensiunile si curentii care ar putea fi indusi in structura victima pentru a putea dimensiona corect protectiile si pentru a realiza si o amplasare geometrica convenabila a structurilor proiectate. Deci se doreste determinarea si implementarea unor **algoritmi numerici de calcul si estimare** a acestor marimi care sa fie simulate pe niste structuri de **circuite echivalente**.

2. Utilizand subdivizarea in elemente de conducta (pipe elements) a structurii complexe de conducte din sol, pentru a micsora efortul de calcul, modelul numeric creat va fi introdus in module **de optimizare**.

3. Aceste asa numite pipe elements sunt modelate intr-o structura cilindrica dar ele ar putea fi extinse la alte geometrii mai generale. Forma functiei care reprezinta solutia relativ la un element de conducta (pipe element) este presupusa **axial-simetrica** in literatura de specialitate. Acest lucru inseamna ca variatia solutiei se presupune a fi liniara de-a lungul fiecarui element de conducta. Pentru probleme de potential acest lucru implica faptul ca densitatea curentului indus si potentialul dintre un punct de pe conducta si sol variaza numai pe directie axiala nu si radiala. Mai exact se utilizeaza o **variatie axial-liniara**, deci intr-un plan perpendicular pe axa unui *pipe element* potentialul si densitatea de curent sunt constante. Toate aceste aproximari si presupuneri, care au fost folosite si de dl. dr. Micu in teza sa de doctorat, pot da gres in unele cazuri. Se doreste in cadrul acestui proiect si o **estimare clara a erorii** datorate acestor aproximari pentru cazurile reale de conducte cu invelis de polyetilena respectiv bitum si bineinteles pentru conducte cu

diferite diametre. Se vor face în acest scop calcule analitice, simulări numerice și măsurători pe cazurile reale existente.

4. O altă problemă de studiat este și influența suprafeței solului (adică de fapt influența adâncimii conductei) asupra distribuției densității de curent indus bineînțeles și în funcție de rezistivitatea învelișului conductei.

5. Se urmărește și **calculul numeric a neuniformității soluției** datorită apropierii de prizele de împământare din instalația de împământare sau de alte conducte de transport fluide din sol aflate în vecinătate. Pentru calculul numeric a neuniformității se vor utiliza diverse tehnici particulare de evaluare numerică (Newton Raphson generalizată, Newton modificată, Gradient conjugat) și se va dezvolta un **algoritm iterativ propriu de rezolvare** care să țină seama de caracterul **rau condiționat** al sistemului care apare în modelul matematic creat. De acest lucru nu s-a ținut cont în literatura de specialitate autorii rezolvând acest sistem utilizând solverul iterativ **GMRES** (Generalised Minimal Residual Algorithm). De fapt calitatea acestui solver iterativ GMRES depinde în mare măsură de **numărul de condiționare al sistemului** și s-a dovedit că rezolvarea cu acest solver da greș atunci când sistemul este rau condiționat (cazul în care apare un curent de defect care se scurge în instalația de legare la pământ și care mai apoi devine structura inductoare pentru conductele de transport fluide din vecinătate).

6. Calculele de interferențe constau în principal din calculele **interferențelor inductive și conductive** care se fac independent unul de altul pentru că mai apoi să fie combinate pentru obținerea unui rezultat final. Aceste două tipuri de interferențe sunt liniare, adică dacă curenții longitudinali care apar datorită ambelor tipuri de interferențe sunt cunoscuți, atunci ei pot fi adunați prin superpoziție. Ținând cont de cuplarea interferențelor conductive și inductive, valorile finale nu sunt cunoscute exact, deci **suprapunerea valorilor calculate independent reprezintă o aproximare**. Pe de altă parte, datorită faptului că valorile curenților induși în conducte datorită cuplajului conductiv (dacă conducta este legată galvanic la instalația de legare la pământ) sunt cel puțin cu un ordin de mărime mai mici decât cele care apar datorită interferenței inductive, se poate spune că eroarea rezultată prin aplicarea superpoziției este mică în cazul aplicațiilor practice. Dar este de așteptat o **demonstratie matematică clară** a acestui aspect cu toate **estimările erorilor** care apar din aceste aproximații.

7. Se va încerca să nu se mai țină cont de aceste aproximații prin implementarea unui **algoritm iterativ** care să alterneze între calculele inductive și conductive, în fiecare moment, curenții să se calculeze pe baza rezultatelor de la iterația precedentă.

8. Calculele de interferențe inductive sunt realizate pe baza unui **model hibrid teorie câmp-teorie circuite**; teoria circuitelor poate fi utilizată pentru a obține **potențialele** la fiecare capăt al segmentelor precum și curenții longitudinali și transversali în fiecare segment de conductor.

Programul **ECCAPP** produs de **AGA** realizează o analiză a cuplajelor conductive și inductive utilizând o teorie hibridă câmp + circuite. Aceasta constă în analiza unuia sau mai multor sisteme de împământare (**prize de împământare**), efectelor asupra conductoarelor îngropate (cum ar fi conductele tehnologice) și a **potențialelor electrice rezultante în sol și pe suprafața solului**.

Primul pas în algoritmul de calcul utilizat de ECCAPP este utilizarea teoriei câmpului (teoria conductoarelor scurte) pentru determinarea **impedanțelor proprii și mutuale** pe unitate de lungime a tuturor conductoarelor din rețeaua de împământare, incluzând **protecția catodică specifică** pentru conducte. Se utilizează apoi teoria circuitelor pentru determinarea **căderilor de tensiune** în fiecare conductor, datorită **curenților longitudinali** care circulă prin el. În proiect se va considera fiecare conductor îngropat subdivizat în segmente cu lungimi mici în comparație cu lungimea de undă a semnalului transmis și cu lungimea totală a sistemului de împământare astfel

încaț sa se poata crea un model de circuit echivalent care contine si impedantele interne si externe ale segmentelor. Drept urmare , **sistemul de pamantare si conductele îngropate învecinate le vom putea analiza ca o retea de conductoare scurte.**

9. Se va continua cu **dezvoltarile analitice ale campurilor electromagnetice de frecventa joasa** generate de un conductor parcurs de curent, îngropat într-un mediu infinit extins (mediu nemarginit), respectiv într-un semispatiu omogen conductor (sol uniform). Se va presupune ca toate punctele de pe suprafata conductorului de legare la pamant sunt la acelasi potential, deci conductorul este perfect (nu apare nici o cadere de tensiune la circulatia curentilor longitudinali); aceasta aproximare este valabila numai la joasa frecventa si pentru conductoare scurte.

În cazul conductoarelor fara învelis într-un mediu conductor, exista totusi un curent de scurgere (transversal) de-a lungul suprafetei conductorului, deci **curentul axial (longitudinal) nu poate fi considerat constant** si are o expresie complicata, fiind functie de pozitia pe conductor. Aceasta functie satisface o **ecuatie integrala** careia nu i se poate determina o solutie precisa, în majoritatea cazurilor. Prin **metoda aproximatiilor succesive** se va dori determinarea unei solutii numerice pentru distributia curentului de-a lungul conductorului.

10. Daca conductorul este subdivizat în segmente de lungimi mici, pentru determinarea **functiei reale a distributiei de curent** se poate incerca utilizarea unei metode mai usoara de calcul, bazata pe **metoda elementului finit**, lucru nefinalizat in literatura de specialitate.

11. Sistemele tipice de conductoare îngropate constau în conductoare cilindrice fara învelis conectate între ele, de obicei, în mai multe puncte. Conductoarele horizontale si extremitatile superioare ale conductoarelor verticale sau oblice sunt îngropate la cel puțin un metru sub suprafata solului. Unul sau mai multe dintre conductoarele îngropate sunt conectate cu conductoare speciale (prin care se realizeaza injectia de curent) prin care curentii de defect patrund în rețeaua de legare la pamant; aceste conductoare speciale pot fi utilizate temporar sau permanent pentru circulatia unor curenti test prin rețeaua de pamantare. În apropierea acestei rețele pot exista si conductoare îngropate, ca de exemplu conducte tehnologice (de obicei izolate si se tine cont de învelis prin aplicarea unor conditii de frontiera la interfata conductor – învelis).

12. Se doreste determinarea comportarii (raspunsului) rețelei conductoarelor de legare la pamant si a conductoarelor îngropate din apropierea lor (conduce tehnologice) atunci cand este energizata de curenti injectati cunoscuti. Obiectivul acestei analize este determinarea:

-Potentialelor fiecarui nod;-Curentilor longitudinali si transversali în fiecare segment de conductor;

-Potentialul scalar în fiecare punct de observatie în sol; -Campul magnetic în fiecare punct din sol.

13. Daca functia de repartitie a curentului longitudinal este presupusa constanta modelul matematic la care se ajunge reprezinta un set de ecuatii liniare care se pot rezolva usor si dau ca rezultat valorile necunoscute ale curentilor longitudinali. Dar daca curentul longitudinal nu este reprezentat de o functie constanta ci de o functie de gradul I (functie de pozitia de pe conducta) atunci modelul matematic va genera un sistem cu $2n$ necunoscute reprezentate de coeficientii functiei de gradul I. În acest caz, sunt necesare $2n$ ecuatii pentru a defini **unicitatea acestei probleme. Precizia solutiei** va depinde de numarul n al segmentelor din rețeaua de conductoare si de gradul functiei polinomiale utilizata pentru reprezentarea distributiei curentului longitudinal în interiorul segmentului conductor. Aceasta metoda implica existenta unor **expresii analitice complicate si introduce dificultati de calcul** (de exemplu matricea coeficientilor de dimensiune $(2n \times 2n)$).