

**DIGITALIZAREA PROCESULUI DE EVALUARE A
EXPUNERII UMANE LA CÂMPURI ELECTRICE ȘI
MAGNETICE**

Raport final (max. 10 pagini)

Director: Conf.dr.ing.ec. Nicoleta-Adina GIURGIUMAN

Membrii: Asist.dr.ing. Adrian BOJIȚĂ

Asist.drd.ing. Marian-Răzvan GLIGA

Proiectul de față a avut ca **obiectiv general dezvoltarea, implementarea și testarea unei aplicații software pentru digitalizarea procesului de evaluare a expunerii umane la câmpuri electrice și magnetice**. Ideea acestui subiect s-a născut practic în urma cerințelor tot mai mari din partea firmelor private, care contribuie la re tehnologizarea stațiilor electrice de transformare, pentru realizarea evaluării expunerii umane la câmpuri electrice și magnetice în aceste stații și, de asemenea, a solicitărilor pe care le-am avut de-a lungul anilor pentru evaluarea câmpurilor electrice și magnetice din zonele urbane traversate de linii electrice de înaltă tensiune. Astfel, prin *digitalizarea procesului de evaluare a expunerii umane la câmpului electric și magnetic* realizată în cadrul *Proiectul* s-a facilitat atât procesul de evaluare din mediu urban, din imediata proximitate a liniilor electrice aeriene, LEA, contribuind astfel la dezvoltarea unui *oraș verde*, cât și procesul de evaluare din stațiile din teritoriul României.

Pentru îndeplinirea obiectivului general s-au propus și realizat șase obiective specifice. Activitățile realizate în cadrul fiecăruia vor fi expuse, pe scurt, în continuare, mai multe detalii fiind prezentate în cadrul conferințelor organizate la finalul fiecărei etape intermediare.

O1) Dezvoltarea unui algoritm pentru generarea computerizată a soluțiilor analitice necesare calculului câmpului electric și respectiv a câmpului magnetic

Pentru realizarea acestui obiectiv s-a pornit de la un studiu foarte atent al literaturii de specialitate. Având în vedere faptul că pentru evaluarea câmpului electromagnetic generat de conductoarele LEA se consideră valabil regimul staționar de funcționare al câmpului electromagnetic, adică, mărimile de câmp electric și cele de câmp magnetic sunt analizate independent, s-a elaborat un modul de calcul a intensității câmpului electric generat de o linie electrică de transport și distribuție a energiei electrice și respectiv un modul de calcul al câmpului magnetic generat de LEA. Având la bază cele două module s-au conceput, dezvoltat și implementat algoritmi software pentru calculul câmpului electric și magnetic generat de LEA.

Software-ul de calcul a componentelor câmpului electromagnetic permite determinarea potențialului electric (V), a intensității câmpului electric (E), a intensității câmpului magnetic (H), precum și a inducției magnetice (B), atât în puncte, cât și de-a lungul unui traseu/linie de calcul/măsură. Determinarea câmpului electric și magnetic este realizată sub formă analitică/numerică, adaptată pentru diferite configurații de LEA, astfel încât parametrii geometrici (distanțe, înălțimi, secțiuni, etc.) și electrici (tensiunea electrică, intensitatea curentului electric) ai acesteia să poată fi modificați cu ușurință de către utilizatori. Algoritmii de calcul (back-end) este realizat în limbajul de programare PYTHON 3.11. S-a ales acest limbaj de programare, deoarece pune la dispoziția utilizatorului o multitudine de biblioteci cu funcții matematice de calcul scalar și vectorial, dar și o multitudine de biblioteci utile pentru realizarea reprezentărilor grafice. Aplicația software poate fi folosită atât de pe un desktop/laptop, cât și de pe telefonul mobil.

Interfața grafică a programului dezvoltat este concepută în același limbaj de programare. În acest sens, datele sunt preluate din casetele alfanumerice în care sunt introduse detaliile modelului studiat. Datele introduse sunt stocate în variabile corespunzătoare fiecărei mărimi. Din interfața grafică a programului dezvoltat pentru cazul în care se accesează pe un laptop/PC, prezentată în Figura 1, se poate distinge secțiunea din partea stânga ferestrei, secțiune destinată introducerii datelor problemei studiate. În partea dreaptă a ferestrei se poate distinge secțiunea de afișare a graficelor de variație a mărimilor electrice, cât și secțiunea butoanelor de acțiune și afișarea valorilor calculate într-un punct. Un calcul se poate relua la apăsarea oricărui buton, nefiind necesară închiderea ferestrei programului.

Pentru a arăta utilitatea practică a programului software dezvoltat s-a ales ca *studiu de caz* Linia electrică aeriană care face legătura între Roșiori și Gădălin, mai exact am considerat zona din vecinătatea stâlpului nr. 38 din zona Bontida, Cluj.

Verificarea și validarea programului EMF s-a realizat prin compararea rezultatelor obținute prin intermediul acestuia, cu rezultatele obținute în urma măsurătorilor experimentale

și cu rezultatele obținute utilizând un program software comercial ANSYS Maxwell 3D. Spre deosebire de acest program comercial de calcul al câmpului electromagnetic, care rulează pe un PC și implică desenarea modelului 3D și rularea acestuia (care nu se face instant), algoritmului EMF permite utilizatorul accesarea acestuia prin intermediul telefonului mobil și obținerea imediată a rezultatului, ceea ce îl face foarte util, pentru că poate fi folosit pe teren, în timpul procesului de evaluare a expunerii umane la câmpuri electromagnetice pentru verificarea valorilor măsurate în anumite puncte considerate de interes.

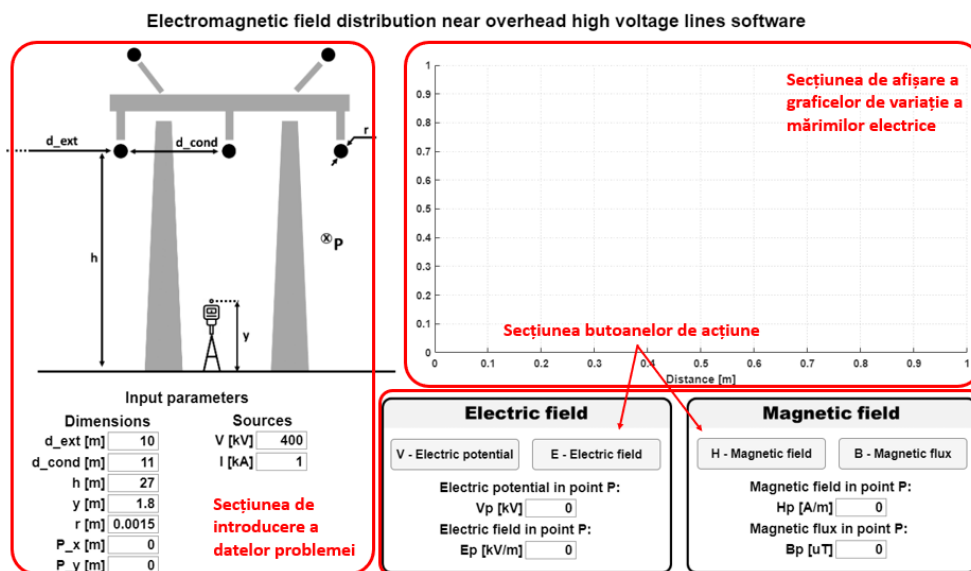


Fig. 1 Interfața programului EMF

Rezultatele prezentate în cadrul acestui obiectiv au fost publicate într-un articol științific la revista Technologies, Journal Rank: JCR-Q1, CiteScore - Q1.

O₂) *Conceperea unei baze de date care să cuprindă standardele în vigoare pentru expunerea umană la câmpuri electrice și magnetice pentru stabilirea limitelor regăsite în standard pentru fiecare tip de expunere în parte*

Obiectivele 2, 3, 4, 5 și 6 din cadrul Proiectului vor sta la baza unei Propuneri pentru Brevet de invenție motiv pentru care nu putem oferi foarte multe detalii în cadrul acestui Raport (deoarece în momentul depunerii documentației pentru un Brevet de invenție una dintre condiții este ca rezultatele să nu fi fost făcute publice).

În cadrul acestui obiectiv s-a realizat o bază de date care cuprinde standardele în vigoare pentru expunerea umană la câmpuri electrice și magnetice, având ca scop stabilirea limitelor regăsite în standarde pentru fiecare tip de expunere în parte. Această bază de date permite accesul la informațiile din standarde, chiar în timpul realizării testelor EMC, fiind astfel foarte utilă, atât celor care realizează aceste teste, cât și beneficiarului sau firmei care solicită aceste evaluări.

Folosind această bază de date s-a dezvoltat un algoritm de selecție a limitelor de expunere la câmpuri electromagnetice în vederea integrării acesteia în aplicația software finală. Astfel, din programul software dezvoltat, se pot accesa aceste standarde în vederea stabilirii limitelor de expunere profesională și publică la câmpuri electromagnetice pentru fiecare mărime evaluată independent (intensitatea câmpului electric, intensitatea câmpului magnetic, inducția magnetică) pentru diferite domenii de frecvență.

O₃) *Construirea unui trepied mobil și controlarea automată a deplasării acestuia pe liniile de măsură (robotizarea trepiedului utilizat pentru realizarea măsurătorilor experimentale)*

Robotizarea trepiedului facilitează foarte mult munca din procesul evaluării expunerii umane la câmpuri electrice și magnetice, întrucât înlocuiește minim două persoane, și anume,

persoana care măsoară distanța, persoana care mută trepiedul și aparatul de măsură în noul punct de evaluare și respectiv persoana care notează valorile câmpului electric și magnetic în fiecare punct de evaluare. Este evident faptul că procesul de măsurare folosind trepiedul mobil este mult mai rapid și astfel întreg procesul de evaluare a expunerii umane la câmpuri electrice și magnetice generate de LEA.

Pentru îndeplinirea acestui obiectiv într-un prim pas s-a proiectat virtual, utilizând programul software SOLID WORKS, trepiedul mobil în vederea determinării modalității optime de construire a acestuia și a modului de amplasare a componentelor necesare robotizării. Marea majoritate a elementelor de legătură, susținere, depozitare necesare pentru robotizarea trepiedului mobil au fost realizate/construite cu ajutorul imprimantei 3D existentă în cadrul Centrului de cercetare NUMELEC (Numerical Modeling and Electromagnetic Compatibility). S-a trecut apoi la analiza pieței pentru achiziționarea componentelor necesare construirii dispozitivului de automatizare a trepiedului mobil și achiziționarea acestora. Pentru măsurarea câmpului electric și magnetic generat de LEA s-a utilizat instrumentul de măsură Maschek ESM 100 producție Germania aflat în dotarea Laboratorului de Compatibilitate Electromagnetica al Departamentului de Electrotehnică și Măsurări din cadrul Centrului de cercetare NUMELEC.

În paralel cu construirea fizică a dispozitivului de automatizare a trepiedului mobil s-a dezvoltat și implementat un algoritm software de comandă și control a trepiedului însoțit de o interfață foarte prietenoasă care permite comandarea și controlarea mișcării trepiedului prin intermediul butoanelor specifice.

O4) Algoritm pentru înregistrarea vocală a valorilor mărimilor măsurate, stocarea acestora în fișiere de tip text și reprezentarea grafică a datelor

Algoritm software pentru înregistrarea valorilor măsurate, stocarea acestora în fișiere de tip text și reprezentarea grafică a datelor este extrem de utilă, deoarece până în prezent colectarea/înregistrarea și prelucrarea valorilor mărimilor măsurate (a câmpului electric și respectiv a câmpului magnetic) se realiza manual. Pentru a facilita, moderniza și îmbunătăți acest proces în cadrul *Proiectului* s-a dezvoltat, elaborat și implementat un algoritm pentru înregistrarea valorilor mărimilor măsurate, stocarea acestora în fișiere de tip text și reprezentarea grafică a datelor. În acest scop mai întâi s-a dezvoltat și implementat un algoritm software de înregistrare a valorilor măsurate și stocare a acestora. S-a trecut apoi la dezvoltarea și implementarea unui algoritm software prin intermediul căruia aceste mărimi pot fi reprezentate grafic ceea ce permite utilizatorului să aibă acces la o primă evaluare a modului de distribuție al câmpului electric și magnetic de-a lungul unei linii de măsură chiar și în timpul procesului de colectare a datelor, adică în locația în care se realizează măsurătorile. În încheierea *Obiectivului 4* s-a verificat și testat algoritmul pentru înregistrarea valorilor mărimilor măsurate, stocarea acestora în fișiere de tip text și reprezentarea grafică într-o zonă urbană din orașul Cluj-Napoca parcursă de linii electrice aeriene de transport și distribuție a energiei electrice.

O5) Dezvoltarea unui echipament mobil pentru măsurarea automată a câmpului electric și a câmpului magnetic montat pe trepied

Trecerea de la procedeul clasic de evaluare a expunerii umane la câmpurile electrice și magnetice generate de LEA la *digitalizarea procesului de evaluare* a condus, prin obiectivele implementate până în acest moment, la modernizarea și îmbunătățirea realizării procesului de evaluare aducând foarte multe avantaje, dintre care menționăm:

- ✓ generarea computerizată a soluțiilor analitice necesare calculului câmpurilor electrice și magnetice generate de LEA;
- ✓ algoritm de selecție a limitelor de expunere la câmpuri electromagnetice;
- ✓ construirea dispozitivului de automatizare a trepiedului mobil și controlarea automată a deplasării acestuia pe liniile de măsură;
- ✓ algoritm pentru înregistrarea și stocarea valorilor mărimilor măsurate;
- ✓ algoritm pentru reprezentarea grafică a valorilor mărimilor măsurate.

În timpul implementării și dezvoltării activităților aferente primelor patru obiective, am acumulat noi experiențe, care ne-au ajutat să identificăm mici dezavantaje de care am ținut cont în cadrul *Obiectivului 5*. Dintre acestea menționăm:

- dimensiunile mari ale echipamentului;
- dificultatea transmiterii datelor măsurate;
- dificultatea deplasării pe un teren accidentat.

Aceste mici dezavantaje ne-au determinat ca în implementarea *Obiectivului 5 Dezvoltarea unui echipament mobil pentru măsurarea automată a câmpului electric și a câmpului magnetic montat pe trepid* să înlocuim trepidul cu un suport cilindric având înălțimea impusă de standardele în vigoare și astfel s-a putut înlocui și ansamblu de susținere al acestuia cu un robot de dimensiuni mult mai mici a cărui sistem de deplasare este bazat pe șenile făcând astfel posibilă depășirea eventualelor obstacole.

Astfel, în cadrul acestui obiectiv s-a urmărit proiectarea unui dispozitiv telecomandat cu dimensiuni reduse prin intermediul căruia valorile măsurate ale câmpului pot fi transmise automat de sistemul electronic de măsură într-o bază de date definită pentru fiecare locație de măsurare. În acest scop mai întâi s-a proiectat virtual echipamentul mobil pentru măsurarea automată a câmpului electric și a câmpului magnetic pentru a determina configurația optimă și modul de amplasare a elementelor componente pe modulul de comandă și control. Apoi s-a realizat o analiză a pieței în vederea achiziționării elementelor componente de o calitate cât mai bună raportată și la un preț accesibil și s-au cumpărat componentele necesare. Întrucât, spre deosebire de ideile inițiale, menționate în *Propunerea proiectului*, în cadrul acestui obiectiv s-a construit un nou robot având dimensiunile miniaturizate, au fost necesare achiziționarea unui număr mult mai mare de componente. În *Propunerea proiectului*, pentru acest obiectiv era prevăzută doar înlocuirea aparatului de măsură comercial cu senzori pentru măsurarea câmpului electric și magnetic. Astfel, pentru a putea realiza un nou robot care să poată funcționa în paralel cu primul a fost necesară achiziționarea unui număr semnificativ de elemente componente (șasiu motor, Rapsberry Pi 5, modul GSM, Arduino Mega, modul de măsură a câmpului electromagnetic GY-273, ș.a.). În paralel cu aceste activități s-a dezvoltat și implementat un algoritm de măsurare și stocare a datelor. Verificarea și validarea algoritmului s-a realizat într-o zonă urbană din orașul Cluj-Napoca parcursă de linii electrice de transport și distribuție a energiei electrice prin compararea rezultatelor obținute cu echipamentul mobil cu cele obținute cu instrumentul de măsură Maschek ESM 100 din dotarea laboratorului nostru.

O6) Integrarea algoritmilor și modulelor dezvoltate, implementate, testate și validate în aplicația software pentru digitalizarea procesului de evaluare a expunerii umane la câmpuri electrice și magnetice

În cadrul acestui obiectiv s-a urmărit integrarea tuturor modulelor și algoritmilor prezentați în obiectivele anterioare într-o aplicație software complexă care permite digitalizarea procesului de evaluare a expunerii umane la câmpuri electrice și magnetice, și anume:

- ✓ algoritmul pentru generarea computerizată a soluțiilor analitice necesare calculului câmpului electric, respectiv a câmpului magnetic;
- ✓ algoritmul de selecție a limitelor de expunere la câmpuri electromagnetice folosind baza de date elaborată;
- ✓ algoritm pentru comanda și controlarea automată a deplasării unui trepid mobil;
- ✓ algoritm pentru înregistrarea valorilor mărimilor măsurate, stocarea acestora în fișiere de tip text și reprezentarea grafică a datelor;
- ✓ algoritm pentru înregistrarea și stocarea valorilor măsurate în cazul celui de al 2-lea robot.

Din dorința de a dezvolta un instrument pentru digitalizarea procesului de evaluare a expunerii umane, cât mai simplu de utilizat s-a creat o interfață a programului foarte prietenoasă și intuitivă astfel încât pe această interfață fiecare algoritm are asociată o icoană/buton prin apelarea căroră se deschide o nouă interfață specifică fiecărui algoritm. În paralel s-a dezvoltat

o aplicație de tip back-end care acționează ca un centru de comandă și procesare. Această aplicație folosește o baza de date relațională pentru stocarea eficientă a datelor.

Așa cum am menționat, Obiectivele 2, 3, 4, 5, 6 din cadrul Proiectului stau la baza unei Propuneri pentru Brevet de invenție, motiv pentru care nu s-au precizat detalii în cadrul acestui Raport (deoarece în momentul depunerii documentației pentru un Brevet de invenție una dintre condiții este ca rezultatele să nu fie publicate). Aceste detalii au fost prezentate în cadrul fiecărei Conferințe organizate de către AOSR subliniindu-se astfel faptul că toate activitățile prevăzute au fost realizate cu prisosință aducând chiar unele îmbunătățiri față de ce era prevăzut inițial.

Diseminarea rezultatelor

O parte din rezultatele obținute în urma cercetărilor efectuate în cadrul acestui proiect (care nu afectează brevetarea) au fost publicate într-un articol științific, având titlul *Software Program for the Evaluation of Human Exposure to Electric and Magnetic Fields* al Revistei *Technologies*, revistă cotate Q1, în Figura 2 fiind prezentat certificatul de publicare.



Fig. 2 Articol publicat revista *Technologies*

Rezultatele obținute în cadrul Obiectivelor 2, 3, 4, 5 și 6 stau la baza Propunerii unui Brevet de invenție cu titlul *Instrument pentru digitalizarea procesului de evaluare a expunerii umane la câmpuri electromagnetice* și imediat ce va fi posibil (adică după depunerea documentelor și primirea aprobării de la OSIM că pot fi publicate) vor sta la baza unui articol științific publicat într-o revista internațională Q1 având *acknowledgment-ul* AOSR.

Din dorința îndeplinirii obligațiilor față de AOSR am realizat încă două articole care au tratat subiecte ce constituie pentru noi direcții viitoare de cercetare pe domeniul abordat. O lucrare cu titlul *Analysis of human exposure to electric and magnetic fields while charging and driving an electrical vehicle* în cadrul *International Conference on Advancements of Medicine and Health Care through Technologies* (articol Book Chapter), în Figura 3 fiind prezentat *Certificatul de participare*.

Al treilea articol a fost trimis spre publicare la *Revista Mathematics* și tratează bobinele planare care se doresc a fi folosite în viitor ca sisteme wireless de alimentare a acumulatorilor din *Instrumentul pentru digitalizarea procesului de evaluare a expunerii umane la câmpuri electromagnetice*. Titlul articolului, așa cum reiese și din dovada trimiterii articolului către revistă prezentată în Figura 4, este *Adapting the Formula for Planar Spiral Inductors' Inductance Computation to the New Oval Geometric Shape, Ideal for Designing Wireless Power Transfer Systems for Smart Devices*.



Analysis of human exposure to electric and magnetic fields while charging and driving an electric vehicle

Marian Gliga^{1,2}, Adina Giurgiuman^{1,2}, Calin Munteanu¹, Sergiu Andreica^{1,2}, Claudia Pacurar¹, Claudia Constantinescu^{1,2}, Sabin Dusa¹, Marius Botezatu¹

¹ Department of Electrotechnics and Measurements, Technical University of Cluj-Napoca, Cluj-Napoca, Romania

² Academy of Romanian Scientists, Ilfov 3, 050044 Bucharest, Romania
Marian.Gliga@ethm.utcluj.ro

Fig. 3 Certificat de participare

[Extern] [Mathematics] Manuscript ID: mathematics-3366875 - Submission Received

Expeditor	Editorial Office <mathematics@mdpi.com>
Expeditor	susy@mdpi.com
Destinatar	Marian Razvan Gliga <marian.gliga@ethm.utcluj.ro>, Nicoleta Adina Giurgiuman <adina.giurgiuman@ethm.utcluj.ro>, Claudia Pacurar <claudia.pacurar@ethm.utcluj.ro>
Copie (CC)	Vasile Topa <vasile.topa@ethm.utcluj.ro>, Claudia Alana Constantinescu <claudia.constantinescu@ethm.utcluj.ro>, Calin Munteanu <calin.munteanu@ethm.utcluj.ro>, Sergiu Iulian Andreica <sergiu.andreica@ethm.utcluj.ro>
Răspunde la Data	mathematics@mdpi.com Mie 09:39

Dear Professor Pacurar, Dr. Gliga, Dr. Giurgiuman,

Thank you very much for uploading the following manuscript to the MDPI submission system. One of our editors will be in touch with you soon.

Journal name: Mathematics
 Manuscript ID: mathematics-3366875
 Type of manuscript: Article
 Title: Adapting the Formula for Planar Spiral Inductors' Inductance Computation to the New Oval Geometric Shape, Ideal for Designing Wireless Power Transfer Systems for Smart Devices
 Authors: Claudia Pacurar *, Vasile Topa, Claudia Alana Constantinescu, Calin Munteanu, Marian Razvan Gliga *, Sergiu Iulian Andreica, Nicoleta Adina Giurgiuman *
 Received: 27 Nov 2024



Article

Adapting the Formula for Planar Spiral Inductors' Inductance Computation to the New Oval Geometric Shape, Ideal for Designing Wireless Power Transfer Systems for Smart Devices

Claudia Pacurar ^{1*}, Vasile Topa ¹, Claudia Constantinescu ^{1,2}, Calin Munteanu ¹, Marian Gliga ^{1,2}, Sergiu Andreica ^{1,2} and Adina Giurgiuman ^{1,2}

¹ Department of Electrotechnics and Measurements, Faculty of Electrical Engineering, Technical University of Cluj-Napoca, 26-28 G. Baritiu Street, 400027, Cluj-Napoca, Romania

² Academy of Romanian Scientists, Ilfov 3, 050044, Bucharest, Romania
 Claudia.Pacurar@ethm.utcluj.ro (C.P.); Vasile.Topa@ethm.utcluj.ro (V.T.); Claudia.Constantinescu@ethm.utcluj.ro (C.C.); Calin.Munteanu@ethm.utcluj.ro (C.M.); Marian.Gliga@ethm.utcluj.ro (M.G.); Sergiu.Andreica@ethm.utcluj.ro (A.S.); Adina.Giurgiuman@ethm.utcluj.ro (A.G.)

* Correspondence: Claudia.Pacurar@ethm.utcluj.ro; Tel.: +40742047447

Fig. 4 Articol revista *Mathematics*