

# Progrese in predarea Bazelor electrotehnicii

---

Daniel Ioan mai 2012

## 1. Obiectul disciplinei

**Electrotehnica (ELTH) = Inginerie electrica**

Ramura a inginerie dedicata

- **conceptiei**
- **fabricatiei si**
- **intretinerii in functionare a**
  - **componentelor/echipamentelor**
  - **masinilor / aparatelor**
  - **instalatiilor / sistemelor**

bazate pe fenomene:

- **electrice**
- **magnetice**
- **galvanice (de conductie electrica)**

Bazele electrotehnicii reprezinta bazele teoretice ale ingineriei electrice - stiinta inginereasca fundamentala despre:

- principalele cunostinte de natura **fizica**, referitoare la fenomenele de natura electrica si magnetica
- exprimate in limbaj **matematic** accesibil viitorilor ingineri
- in vederea aplicarii lor directe in diferite ramuri ale ingineriei electrice: electronica, automata, informatica, electromecanica, energetica, electrotermia, etc.
- si a reprezentarii lor algoritmice, **pe calculator**.

Cunostintele sunt prezentate sub forma coerenta (axiomatizata), a doua teorii stiintifice:

- teoria macroscopica a **campului electromagnetic**
- si teoria **circuitelor electrice**.

Sunt prezentate aspectele **calitative** si cele **cantitative**, atat din punct de vedere **conceptual** cat si **aplicativ**. In prezentarea disciplinei este acordata mare atentie utilizarii inteligente a **calculatoarelor** si a Internetului.

## 2. Conceptia acum 30-50 de ani

Referintele bibliografice ale vremii:

- Timotin Al s.a. Lectii de bazele electrotehnicii, EDP 1962, 1964, Ed a II-a in 1970
- Preda M., Cristea P., Spinei F., Bazele electrotehnicii , EDP 1980
- Mocanu C.I., Teoria campului electromagnetic, EDP 1980
- Mocanu C.I., Teoria circuitelor electrice, EDP 1979

- Antoniu I.S., Bazele electrotehnicii, EDP, 1974
- Radulet R., Bazele electrotehnicii, Probleme EDP 1963, ed a II-a 1981
- Preda M., Cristea P., Manea F., Bazele electrotehnicii, Probleme EDP 1983

Principii si caracteristici ale predarii in acea perioada:

- Viziunea coerenta si incercarea lui Radulet de axiomatizare au dus la un progres remarcabil fata de starea de pe vremea lui Budeanu.
- Axiomatizarea nu a fost totusi completa, de exemplu conservarea sarcinii era considerata lege datorita importantei sale teoretice. In multe cazuri se pornea de la electrostatica, magnetostatica si nu de la legi.
- Definitia anterioara a marimilor primitive prin actiuni ponderomotoare si teoria fantei ingreunau intelegerea.
- Teoria circuitelor electrice nu era in conceptia lui Radulet o torie de sine statatoare ci mai curand o aplicatie a electromagnetismului.
- In predare se insista mai mult pe aspectele fizice decat pe cele matematice. Iar aspectele algoritmice erau complet neglijate.
- Probemele neliniare erau tratate marginal, fata de cele liniare, atat in teoria circuitelor cat si in teoria campului.
- In teoria circuitelor, aplicatiile energetice (trifazate) erau preponderente fata de cele electronice (surse comandate, AO, elemente neliniare).
- Analiza in domeniul frecventei era preferata fata de analiza in domeniul timpului. Nu se intelegea importanta variabilelor de stare.
- Erau preferate si dezvoltate metodele analitice fata de cele numerice, care erau neglijate atat la circuite cat si la camp.
- Conceptele circuitelor si cele ale campului erau amestecate sub pretextul intelegerii semnificatiei fizice.
- Era dedicat timp si energie unor pseudo-probleme, cum sunt filtrele pasive.
- Nu era prezentata importanta conceptuala si practica a modelarii ierarhice a dispozitivelor electromagnetice.
- La seminar si laborator se dorea ilustrarea teoriei de la curs si mai putin capatarea unor deprinderi independente.

### 3. Principiile modernizarii cursului

- Simplificarea continutului. Retinerea in curs doar a cunostintelor fundamentale si eliminarea celor de mai mica importanta practica sau teoretica.
- Chiar daca este doar o introducere in bazele ingineriei electrice (electromagnetism si circuite electrice), cursul nu trebuie sa fie rudimentar, ci el trebuie sa atinga cele mai profunde fundamente ale disciplinei, pentru a da o viziune corecta cursantilor. Asta in conditiile in care la Facultatea de Automatica si Calculatoare este singurul curs cu acest continut.
- Accentul pus pe logica disciplinei (inlantuirea logic-armonioasa a cunostintelor) si mai putin pe informatii sau memorarea lor.
- Axiomatizarea cat mai deplina a teoriei campului cat si a teoriei circuitelor.

- Corelarea echilibrată a aspectelor fizice, matematice și algoritmice. Stabilirea în acest fel a corelației corecte cu Fizica, Matematica și Calculatoarele.
- Ilustrarea cu aplicații fundamentale pentru Energetica, Electronica și Automatica.
- Stabilirea relației corecte între teoria circuitelor și teoria sistemelor. Înțelegerea corectă a relației între teoria circuitelor electrice și cea a circuitelor electronice sau a rețelelor electro-energetice precum și între teoria câmpului și cea a circuitelor electrice.
- Stabilirea relației corecte între teoria microscopică a câmpului electromagnetic și alte teorii electromagnetice (microscopice sau relativiste) dar și cu teorii și discipline referitoare la propagarea undelor, ghiduri, cavități și antene.
- Nu este de așteptat ca studenții la nivel de licență să patrundă toate aspectele teoriei câmpului electromagnetic. Mai bine mai puțin și clar decât mult și confuz. În orice caz, la această disciplină trebuie să înțeleagă semnificația principalelor mărimi fizice electrice și magnetice: tensiune, curent, putere, sarcină, flux, etc. și unitățile lor de măsură. În plus, trebuie să înțeleagă care sunt principalele fenomene electromagnetice (legăturile cauzale interne, efectele câmpului) și la ce folosește această teorie.
- Modernizarea conținutului, pentru a asigura deschiderile spre noile tehnologii: circuite cu dispozitive semiconductoare, AO, circuite logice, digitalizarea, circuite neurale artificiale, controlul automat, etc.
- Înțelegerea fundamentului ingineriei electrice, independent de aplicațiile energetice sau de procesarea informației, de curenți slabi sau de curenți tari. Încrederea în propriul raționament.
- Însușirea culturii științifice și tehnice a domeniului. Pregătirea astfel a studenților pentru a face față provocărilor științifice și tehnologice ale sec. XXI, care sunt încă neclar definite.
- Încurajarea abilităților de abordare a problemelor complexe, cuplajul camp-circuit, câmpuri multifizice. Înțelegerea abordării ingineresti, bazată pe compromisul optim, tehnico-economic.
- Semnificația fizică a cunoștințelor și legătura permanentă cu procedeele practice, din laborator.
- Aplicații cât mai interesante, pentru a convinge studenții de utilitatea cunoștințelor asimilate.
- Întărirea încrederii că fără o solidă bază conceptual-teoretică nu pot fi stăpânite aspectele practice și cele industriale, de laborator, de concepție și dezvoltare a noi dispozitive și sisteme.
- Modelarea matematică și numerică a problemelor de câmp și de circuite. Formularea corectă.
- Înțelegerea importanței modelării electromagnetice a materialelor (dielectrice, magnetice și <semi->conductoare). Înțelegerea importanței modelării dispozitivelor electromagnetice. Reducerea ordinului modelelor extrase din problemele de câmp electromagnetic.
- Dezvoltarea abilităților de auto-pregătire. Încurajarea studenților de a gândi independent. Corelația interdisciplinară și înțelegerea importanței culturii științifice și tehnice.
- Folosirea inteligentă a calculatoarelor și Internetului. Capacitatea de a se documenta eficient pe net, de a dezvolta programe performante pentru calculator și de a folosi corect programele profesionale. Încurajarea de a folosi Internetul în documentare (blog, wiki, fb. forum, etc.).
- Abilități clar definite de analiză a circuitelor electrice, care trebuie rezolvate repede și fără nici o eroare. Aprecierea lucrului bine făcut. Capacitate de a se autoevalua corect. Este foarte importantă să știe ce nu a înțeles bine și ce stăpânește bine. Lucrul în echipă, comunicarea cu colegii și învățarea de la ei. Înțelegerea codului etic profesional. Recunoașterea valorii și a proprietății intelectuale. Mandria și încrederea că urmează o școală de elită mondială, cu profesori pe măsură, de la care au ce învăța.

## 4. Camp electromagnetic

Principalele modificări față de modul în care se predă în 1970, atunci când am ajuns eu în catedră:

- Echilibrarea aspectelor fizice cu cele matematice și algoritmice.
- Calculatorul nu este doar o rigla mai perfecționată de calcul (cum zicea prof. Moraru și credeau toți din generația sa). El ne influențează profund modul de gândire și trebuie să țină cont de lucrul acesta în predarea Bazelor electrotehnicii. Lumea virtuală începe să aibă pentru un inginer importanța tot mai mare și mai apropiată de lumea ideilor. Ambele au un impact tot mai mare asupra lumii reale.
- Matematica nu se reduce la ușurința și corectitudinea de a efectua calcule aritmetice, algebrice sau diferențiale și integrale cu numere complexe sau vectori. Ea nu se reduce la un șir de formule ci este rezervorul de concepte abstracte și raționamente riguroase pe care se bazează știința modernă. Modelarea matematică pretinde înțelegerea profundă și corectă atât a spectelor fizice cât și a subtilităților matematice.
- Echidistanța între aplicațiile electro-energetice (de curenți tari) și cele electro-informatică (de curenți slabi).
- Se prezintă cele mai importante clasificări ale marimilor fizice (se renunță de exemplu la clasificarea în vectori polari și axiali care are o foarte mică relevanță). Marimile primitive ale electromagnetismului sunt următoarele marimi locale și instantanee ale câmpului și corpurilor:
  - **E** – intensitatea câmpului electric
  - **D** – inducția câmpului electric
  - **H** – intensitatea câmpului magnetic
  - **B** – inducția câmpului magnetic
  - $\rho$  – densitatea de volum a sarcinii electrice
  - **J** – densitatea de curent electric

Așa cum legile într-o teorie axiomatizată se enunță fără demonstrație, marimile primitive se introduc fără a fi definite. Ele se caracterizează doar ca obiecte matematice și se vor defini ulterior, prin descrierea procedurilor lor de măsurare, care rezultă pe baza teoremelor electromagnetismului. Se insistă asupra caracterului longitudinal și transversal al intensității respectiv inducției câmpurilor (forme diferențiale de ordin 1 și respectiv 2), aspecte cruciale, care fac deosebirea esențială dintre cei doi vectori. Marimile globale se definesc prin integrarea marimilor locale și se insistă asupra sensului de referință. Se discută posibilitatea ca marimile globale să fie primitive iar cele locale să devină derivate.

- În al doilea capitol se prezintă legile electromagnetismului grupate în trei categorii:
  - Legi generale: legea fluxului electric, legea fluxului magnetic, legea inducției electromagnetice și legea circuitelor electrice;
  - Legi de material: a legăturii D-E, a legăturii B-H și legea conductivității;
  - Legi de transfer: a transferului de energie în conductoare și legea transferului de masă în procesul de conducție.

Pentru fiecare lege se prezintă:

- enunțul legii;
- forma matematică generală: formulele globale și integrala în cazul legilor generale și forma locală în rest;
- semnificația fizică a legii (fenomenul fundamental și relația de cauzalitate descrisă);

- consciente calitative si cantitative, cum sunt cele referitoare la forma si orientarea liniilor de camp;
  - formele derivate din forma generala a legii: locala, integrala dezvoltata pentru medii mobile, forma pe suprafete de discontinuitate in cazul legilor generale, iar in cazul legilor de material formele globale, teorema refractiei liniilor de camp si in final formele globale ale legilor de transfer.
  - Se prezinta si alte consecinte directe, cum sunt teorema potentialului electric stationar si definitia potentialului magnetic vector.
  - La fiecare lege se prezinta o serie minimala de aplicatii fundamentale.
  - Relatiile  $\mathbf{D} = \epsilon_0 \mathbf{E} + \mathbf{P}$  si  $\mathbf{B} = \mu_0 (\mathbf{H} + \mathbf{M})$  sunt folosite pentru definirea polarizatiei si magnetizatiei, care sunt deci marimi derivate.
  - In final se prezinta diagrama relatiilor cauzale ale fenomenelor fundamentale ale electromagnetismului. Aici se discuta despre ecuatiile lui Maxwell si formularea corecta a problemei fundamentale a analizei campului electromagnetic. Superpozitia in medii lineare. Aceasta parte se poate transfera la capitolul dedicat teoremele fundamentale ale campului.
  - Sunt prezentate regimurile campului electromagnetic: ES, MS, EC, MG, MQS, EQS, FW, ipoteze si ecuatiile de ordinul intai si al doilea pentru potentiale. Se discuta distributia, difuzia si propagarea campului electromagnetic. Similitudinea regimurilor statice si stationare. Efectele campului in conductoarele masive, adancimea de patrundere si viteza finita de propagare a campului.
- Capitolul al treilea este dedicat teoremelor fundamentale ale electromagnetismului. Se prezinta teorema conservarii sarcinii electrice, teorema energiei electromagnetice si teoremele fortelor generalizate. Pentru fiecare teorema se prezinta enuntul, demonstratia, semnificatia fizica, consecinte si aplicatii. In continuare se definesc condensatoarele, rezistoarele si bobinele iar pentru fiecare dispozitiv tipic se prezinta cele trei teoreme fundamentale - formele globale ale legilor de material: teorema condensatorului liniar, a rezistorului liniar si a bobinei liniare. Se discuta relatia dintre tensiune si curent in regim variabil in timp pentru cele trei dispozitive si apoi se generalizeaza in cazul multipolar pentru a obtine relatiile lui Maxwell pentru capacitati si pentru inductante. Se prezinta ca aplicatii condensatorul plan, cablul coaxial si cele bifilar, rezistorul filiform, solenoidul si cablul bifilar, pentru care se extrag parametrii  $C$ ,  $R$ ,  $L$ , se calculeaza apoi energia/puterea si se determina actiunile ponderomotorie. Se demonstreaza formulele lui Coulomb si Ampere-Laplace. Se discuta apoi definitia marimilor primitive prin indicarea procedeelelor lor de masura dar si alte aspecte metrologice, cum sunt unitatile de masura SI si masurarea principalelor marimi fizice ale electromagnetismului. Se discuta despre relevanta valorii exacte a constantelor universale: permitivitatea si permeabilitatea vidului. Pe baza formelor pe suprafete de discontinuitate ale legilor generale si a teoremelor de conservare ale componentelor tangentiala ale intensitatii campului si ale componentelor normale ale inductiei se stabilesc procedeele de masurare a campului din corpurile prin intermediul campului din fantele tubuare si respectiv plate, fante care intervin in definirea tensiunii si respectiv fluxului. Se discuta posibilitatea ca marimile primitive sa fie marimile locale, doua de camp si patru de material:  $\mathbf{E}_v$ ,  $\mathbf{B}_v$ ,  $\mathbf{M}$ ,  $\mathbf{P}$ ,  $\mathbf{J}$ ,  $\rho$  sau corespodentele lor globale, sau cel putin cele ale materialelor ( $\mathbf{m}$ ,  $\mathbf{p}$ ,  $i$ ,  $q$ ).  
In finalul capitolului se prezinta sub-teoria circuitelor electrice cu elemente filiforme in regim stationar. Este cazul cel mai simplu. care are caracteristicile esentiale ale circuitelor. Se demonstreaza teoremele lui Kirchhoff, Joule si expresia Joule a puterii transferate pe la borne. Cu aceasta ocazie se

discuta ipotezele teoriei a circuitelor electrice generale (cu elemente masive multipolare, in regim variabil):

- circuitul electric este o acum o multime de elemente, definite ca domenii spatiale care interactioneaza electric cu exteriorul printr-o multime de suprafete disjuncte de pe frontierele lor, suprafete numite borne (sau terminale);
- nodurile definite ca locul in care elementele sunt conectate nu acumuleaza sarcina electrica;
- fluxul magnetic este nul pe orice suprafata din afara elementelor de circuit;
- fiecare borna este echipotentiala (conditie indeplinita daca este alcatuita dintr-un material perfect conductor);
- domeniul din afara elementelor nu este parcurs de curent, fiind izolant perfect, dar in plus el este si amagnetic si anelectric (nu este miez al bobinelor sau dielectric condensatoarelor).

Optional (in anumiti ani am avut timp sa tratez si aceste subiecte importante) sunt discutate si subiecte ca: teoria circuitelor magnetice si similitudinea ei cu teoria circuitelor electrice rezistive. Un concept fundamental este cel al elementului multipolar cu parametri distribuiti. Doar cu acest concept se poate fundamenta riguros teoria circuitelor electrice in cazurile generale de importanta practica. Doua aplicatii ilustreaza acest concept: efectul pelicular intr-un conductor cilindric masiv si linia lunga. Teoria campului electromagnetic se incheie prin prezentarea principiilor modelarii numerice a campului electromagnetic: FEM, FDM, BEM dar si prezentarea functiilor pachetului COMSOL. Sunt date trei exemple de coduri cu mai putin de 20 linii pentru aceste trei metode. Studentii sunt incurajati sa dezvolte propriile lor programe dar sa si foloseasca programele profesionale pentru analiza numerica a campului electromagnetic in diferite regimuri.

## 5. Circuite electrice

Si teoria circuitelor electrice este prezentata intr-o maniera axiomatizata (nu se face apel deloc la teoria campului). Circuitele electrice sunt definite ca elemente ideale interconectate. Spatiul fizic are in teoria circuitelor doar structura topologica nu si metrica. Se insista asupra sensului profund al acestei afirmatii si asupra consecintelor sale. Elementele primitive au un dublu statut: ele idealizeaza comportarea componentelor reale si sunt folosite la modelarea lor. Ele vor fi definite functional prin specificarea relatiei impusa intre curenti si tensiuni, relatie cat mai simpla. Sunt introduse (fara definitie) si caracterizate marimile primitive ale teoriei circuitelor: tensiunea si curentul, insistandu-se asupra sensului de referinta. Marimile derivate: vectorul tensiunilor si curentilor - grafurile de curent si tensiune (deosebite de graful circuitului, definit anterior). Axiome ale teoriei circuitelor (enuntate fara demonstratie) sunt legile lui Kirchhoff si legea Joule a puterii transferate pe la borne. Se introduc regulile de la receptoare si generatoare pentru asocierea sensurilor.

Pentru a fi complete la sistemul acestor legi trebuie adaugate ecuatiile constitutive, care definesc realtiile constitutive. In continuare se analizeaza elementele ideale, din categoriile:

- dipolare liniare: R, L, C;
- dipolare neliniare: SIT (e), SIC (j), Dioda perfecta - DP;
- multipolare rezistive liniare, reciproce si nereciproce, sursele comandate linar, AO, AOP exemple de circuite cu reactie negativa;
- multipolare reactive liniare: reciproce L, M, C si nereciproce - filtre. Calculatorul analogic. Circuite si sisteme dinamice LTI;

- multipolare rezistive neliniare: modele de mici variatii, surse comandate neliniar, AOPn, reactia pozitiva, retele neurale artificiale, teorema Cybenko, aplicatii: modelele ale tranzistoarelor in circuite cu tranzistoare;
- multipolare reactive neliniare: bobine cuplate cu miez de fier, modele reactive ale componentelor neliniare (tranzistoare, AO), sisteme neliniare, retele neurale dinamice.

La fiecare element ideal se prezinta definitia - ecuatia constitutiva, simbolul, cazurile particulare si caracterizarea sa energetica. In aplicatii se discuta idealizarile dar si modul in care se realizeaza modelarea. Scopul final este de a identifica elementele primitive. Acestea sunt R, L, C, e, j, AOP, DP. Capitolul se incheie cu prezentarea elementelor primitive SPICE. Mare atentie trebuie acordata conceptelor de liniaritate - definita in sens matematic (care se confunda deseori cu afinitatea), pasivitate si modului de control: curent, tensiune, hibrid sau necontrolabil. In consecinta, elementele L, C sunt liniare doar in conditii initiale nule. Independenta, coerenta si completitudinea legilor va fi discutata ulterior, cu ocazia formularii problemei fundamentale a analizei circuitelor.

Teoria circuitelor este structurata in trei capitole: cel introductiv dedicat in principal elementelor ideale, cel dedicat similitudinilor si echivalentelor si cel final dedicat teoremelor fundamentale. Capitolul al doilea incepe cu un paragraf dedicat operatorilor de impedanta si admitanta. Se continua cu semnalele sinusoidale si reprezentarea lor in complex iar apoi cu semnalele tranzitorii si preprezentarea lor operationala, prin transformata Laplace. Se demonstreaza similitudinile cc- ca si ca-tr, pentru care se fac mai multe aplicatii. In continuare, pe baza acestor similitudini, teoremele nu vor mai fi enuntate/ demonstrate separat pe regimuri: cc, ac, tr, ci o singura data. Capitolul continua cu teoremele de echivalenta: pentru surse SRT-SRC, Vaschy, serie, paralela, stea, triunghi, poligon complet si pentru bobine cuplate. Se prezinta aplicatii ale acestor teoreme: analiza prin transfigurari, relatiile divizorului de tensiune/curent, circuite trifazate, modelarea liniilor lungi in regim armonic.

Ultimul capitol al cursului prezinta teoremele fundamentale ale circuitelor electrice si analiza sistematica a circuitelor. Se incepe cu forma matriceala, independenta a ecuatiilor lui Kirchhoff (in cele patru forme echivalente, ambele exprimate cu matricele topologice A, B, C si D). Se continua cu teorema lui Tellegen - conservarea/bilantul (pseudo)puterilor si teorema pasivitatii. Se enunta problema fundamentala a analizei circuitelor electrice si se discuta formularea ei corecta. Sunt prezentate metodele pentru analiza sistematica a circuitelor: Kirchhoff, curenti ciclici si tehnica nodala (inclusiv MNA). Analiza automata este ilustrata prin codul de generare a matricei nodale. Se prezinta apoi teoremele fundamentale ale circuitelor: a liniaritatii - superpozitiei, reciprocitatii, afinitatii si Thevenin, Norton. Ca o caracteristica a cursului, ultimele doua teoreme sunt prezentate atat in forma clasica dipolara cat si in cea generalizata pentru circuitele tripolare si multipolare (reciproce si nereciproce). Teoremele liniaritatii, pasivitatii, reciprocitatii si afinitatii au un enunt comun, de maxima eleganta si simplitate. Fiecare teorema se enunta, se demonstreaza si se ilustreaza prin aplicatii.

Cursul se incheie cu paragrafele optionale referitoare la ecuatii si variabile de stare, regimul periodic nesinusoidal, analiza in frecventa (inclusiv FFT), iar in final cu analiza numerica a circuitelor electrice.

Concluzi referitoare la continutul cursului este ca am incercat (si eu zic ca am si reusit) sa reduc la minim cantitatea de cunostinte, retinand doar pe acelea necesare unei abordari moderne a ingineriei electrice si insistand mai ales pe logica inlantuirii acestor cunostinte.

## 6. Seminar si laborator. Comunicarea cu studentii

Pentru comunicarea mai eficienta cu studentii am initiat blogul:

<http://bazele-electrotehnicii.blogspot.com/>

Aici sunt disponibile:

- imagini ale tabelor cursului
- note de curs in format ppt/pdf, editate anul acesta si structurate in cele sase capitole plus o introducere
- forma scurta a cursului (290 pag.), redacata in anul 2000
- culegerea de probleme de circuite electrice rezistive, redactata in anul 2000.

Studentii pot pune intrebari si pot face comentarii la fiecare postare din blog.

**Va invit sa vizitati aceasta pagina si sa rasfoiti documentele mentionate. Numai asa veti putea intelege mai bine natura progresului realizat in predarea disciplinei de Bazele electrotehnicii.**

"Noutatea" promovata de mine inca din anii 70 la seminar este importanta deosebita dat obtinerii de studenti a deprinderilor de analiza rapida a circuitelor electrice rezistive. Studentii sunt instruiti sa gasesca arbori in grafurile de curent si de tensiune apoi cum sa determine parametri elementelor din circuit si sa verifice bilantul puterilor. Astfel ei isi pot genera singuri probleme oricat de complicate cu rezultate numere intregi. Se insista apoi pe analiza circuitelor folosind transfigurari succesive si pe extragerea generatoarelor echivalente Thevenin sau Norton.

In prezent cred ca fiecare student trebuie sa-si dezvolte in MATLAB propriul program simplu de analiza circuitelor si sa foloseasca programul SPICE.

## 7. Pregatirea doctoranzilor

- La pregatirea pentru licenta si master, studentii mai urmeaza cursurile (doar la Inginerie electrica)
- Teoria circuitelor electrice
- Teoria campului electromagnetic
- Metode numerice în ingineria electrică
- Unde electromagnetice (facultativ)
- Introducere în metoda elementului finit
- Modelarea electromagnetica
- Analiza numerica a circuitelor electrice
- Algoritmi numerici (Master INF)
- Software pentru analiza circuitelor electrice (Master INF)
- Electromagnetism tehnic (Master INF)
- Chestiuni speciale de electrotehnică (Master SEA)
- Probleme de câmp electromagnetic în nanostructuri (Master NANO)
- Caracterizarea experimentală și modelarea microstructurilor magnetice (Master NANO)

Aparent ar trebui sa rezulte o pregatire foarte solida in domeniu. Am mari dubii asupra coerenței acestei pregatiri. Doctoranzii pe care incerc sa-i pregatesc nu o dovedesc. Planurile de invatamant nu par sa aiba coerența si viziune ci sunt mai curand o incropire peticita, bazata pe interesele resurselor umane existente.

Ce examene de doctorat am dat eu (dupa doar trei semestre serioase de Baze la Licenta/master):

- Chestiuni speciale de camp electromagnetic (legi, teoreme generale, regimuri - ipoteze, ecuatii, formularea corecta a problemelor - teoreme de unicitate, teoreme specifice);



- Metode de analiza campului electromagnetic (analitice si numerice);
- Chestiuni speciale de matematici si teoria sistemelor.

Ce examene dau doctoranzii mei:

- Spatii si transformari liniare (Chestiuni speciale de algebra si analiza functionala)
- Modelarea electromagnetica (Chestiuni avansate de electromagnetism)
- Reducerea ordinului modelelor electromagnetice (Chestiuni speciale de teoria sistemelor, include extragerea modelelor de circuit si discretizarea ecuatiilor campului)
- Calcul stiintific de inalta performanta (include programarea arhitecturilor multiprocesor)

In perspectiva noii legi, ar trebui ca pregatirea de la master sa fie mai solida (doctoratul are doar un semestru de cursuri). Sunt adeptul unui numar mai redus de cursuri, dar mai serioase (cu un numar mai consistent de ore).

Ce dezvoltari au avut loc intre timp in cunoasterea stiintifica si tehnologie:

- Dezvoltarea analizei functionale si aplicarea ei la campul electromagnetic
- Forma slaba a ecuatiilor campului
- Formularea corecta a problemelor de camp: existenta si unicitate
- Noi conditii de frontiera: EMCE, ABC, etc.
- Exprimarea marimilor electromagnetice ca forme diferentiale
- Dezvoltarea fara precedent a tehnicii de calcul si networking, atat din punct de vedere hardware (memorie si viteza de calcul) dar si software (sisteme de operare, ingineria programarii, limbaje de programare - medii de dezvoltare, inclusiv MATLAB ideal pentru dezvoltarea eficienta a prototipurilor, OOP, algoritmi matematici fundamentali numerici si nenumarici: FFT, FMM, Computational geometry - mesh generation, sparse matrix, iterative and direct methods for large systems of linear equations, parallel and distributed processing, etc.)
- Noi metode numerice de analiza campului electromagnetic: FEM, FDTD, FIT, BEM, PEEC.
- Formularea corecta a problemelor de analiza circuitelor (unicitatea solutiei pentru circuite neliniare).
- Identificarea metodelor eficiente si robuste (stif) de analiza numerica a circuitelor electrice de mari dimensiuni
- Noi metode de descriere sistemica si reducerea ordinului in domeniul timpului (variabile de stare) si in cel al frecventei (MOR - Krylov, Vector Fitting).
- Dezvoltarea tehnicilor soft-computing (probleme inverse si optimizari cu algoritmi genetici, ANN). De exemplu, teorema lui Cybenko pentru circuite neurale artificiale.
- Extinderea gamei de aplicatii in electro-energetica si (micro)electronica. Utilizarea modelarii si simularii numerice devine obligatorie in proiectarea electronica (EDA - Electronic Design Automation). Sunt folosite intensiv atat simulatoarele de circuit (SPICE) cat si de camp (ANSYS, CST, COMSOL).

Ce lucrari mi-au influentat modul de gandire. Referinte bibliografice fundamentale ale membrilor catedrei:

- R. Rădulet, Al. Timotin, A. Țugulea, *O teorie generală a parametrilor lineici tranzitorii ai liniilor electrice lungi și cu pierderi in prezenta solului*, Stud. Cerc. Energ. Electrotehn., **16**, 3, pp. 417–449 (1966).
- R. Radulet, A. Timotin, and A. Tugulea. *Introduction des parametres transitoires dans l'etude des circuits electrique lineaires ayant des elements non filiformes et avec*

*pertes suplimentaires*. Rev. Roum. Sci Techn. - Electrotech. et Energ., 11(4):565-639, 1966.

- Al Timotin, A. Tugulea, *Asupra interpretarii electrodinamicii Maxwell-Hertz in lumina teoriei relativitatii*. Buletinul Institutului Ploitehnic Bucuresti, Tom XXVI-1964, fascicola2-Electrotehnica
- Al. Timotin. *Elementul electromagnetic pasiv de circuit*, St. cerc. energ. electr., **21**, 2, pp. 347-362, 1971.
- Mocanu, C.I. *The Equivalent Schemes of Cylindrical Conductors at Transient Skin Effect*, Power Apparatus and Systems, IEEE Transactions on, May 1972 Volume: PAS-91, Issue: 3, 844 - 852
- Radulet R., Tugulea A., Timotin Al., "Teoreme de unicitate pentru regimuri variabile ale campului electromagnetic", *St. Cerc. Energ. Elth.*, nr. 1, 1971, p. 109-128.
- Hantila Fl Teza de doctorat: "Contributii asupra teoriei masinilor de curent continuu cu magneti permanenti", Bucuresti, Facultatea de Electrotehnica, catedra Masini electrice, 1976.
- Ioan D Teza de doctorat: *Regimul tranzitoriu al câmpului electromagnetic în medii neliniare - Abordarea sistematica si scheme echivalente*. Teza de doctorat, Institutul Politehnic Bucuresti, Romania, 1978. *Mentionez si aceasta lucrare pentru ca la vremea ei reprezentat o deschidere intr-o directie noua de cercetari: "Model Order Reduction", care acum a luat o amploare deosebita.*

Alte referinte fundamentale din literatura internationala:

- Circuite si sisteme:
  - Chua, Desoer and Kuh, *Linear and Nonlinear Circuits*, McGraw-Hill Book Company, New York 1987
  - Lotfi A. Zadeh *Linear System Theory: The State Space Approach*, R. E. Krieger Pub. Co., 1979
  - Leon O. Chua, Pen-Min Lin, "Computer-Aided analysis of electronic circuits: algorithms and computational techniques", Prentice-hall, 1975
  - Chua, L. **Nonlinear circuits** *Circuits and Systems*, IEEE Transactions on, Jan 1984 **Volume:** 31, Issue: 1 69 - 87
  - A. N. Willson, Ed., *Nonlinear Networks: Theory and Analysis*, New York: IEEE Press, 1974.
  - Weeks, W., Jimenez, A., Mahoney, G., Mehta, D., Qassemzadeh, H., and Scott, T. (November 1973). "Algorithms for ASTAP--A network-analysis program". *IEEE Transactions on Circuit Theory* **20** (6): 628–634.
  - *IEEE Transactions on Circuit Theory* **CT20, 1973**, Special issue - CAD
  - Nagel, Laurence W. and Pederson, D.O., *SPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis)*, 1973,  
<http://www.eecs.berkeley.edu/Pubs/TechRpts/1973/22871.html>
  - Hachtel, G., Brayton, R, and Gustavson, F. (January 1971). "The Sparse Tableau Approach to Network Analysis and Design". *IEEE Transactions on Circuit Theory* **18**: 101–113.
  - Andrei Vladimirescu, "The SPICE Book" Wiley, 1993 |
  - Wai-Kai Chen, *The Circuits and Filters Handbook*, CRC Pres, 2009,

- Ricardo Rianza, *Differential-Algebraic Systems: Analytical Aspects and Circuit Applications*, 2008
- Metode numerice pentru calculul campului:
  - O.C. Zienkiewicz, *The Finite Element Method in Engineering Science*, McGraw-Hill, New York, 1971
  - Brebbia CA. *The boundary element method for engineers*. London/New York: Pentech Press/Halstead Press; 1978.
  - Weiland, T. A discretization model for the solution of Maxwell's equations for six-component fields *Archiv fuer Elektronik und Uebertragungstechnik*, vol. 31, Mar. 1977, p. 116-120.
  - P.P. Silvester, R.L. Ferrari, *Finite Elements for Electrical Engineers*, CUP 1996
  - J. C. Nedelec, Mixed finite elements in  $\mathbb{R}^3$  *Numerische Mathematik*, Volume 35, Number 3 (1980), 315-341
  - Alain Bossavit *Computational Electromagnetism: Variational Formulations, Complementarity Edge elements*, AP 1998
  - *Progress in Electromagnetic Research*, PIER vol 32 online, 2001 - <http://www.jpier.org/PIER/pier.php?volume=32>
  - Kameari, A. Koganezawa, K. , Convergence of ICCG method in FEM using edge elements without gauge condition *Magnetics*, *IEEE Transactions on* Mar 1997 **Vol 33**, Issue: 2 pp 1223 - 1226
  - FDTD
    - Kane Yee (1966). "Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell's equations in isotropic media". *IEEE Transactions on Antennas and Propagation* **14** (3): 302–307. Bibcode 1966ITAP...14..302Y. doi:10.1109/TAP.1966.1138693.
    - <sup>a b</sup> A. Taflov (1980). "Application of the finite-difference time-domain method to sinusoidal steady state electromagnetic penetration problems". *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility* **22** (3): 191–202.
    - G. Mur (1981). "Absorbing boundary conditions for the finite-difference approximation of the time-domain electromagnetic field equations". *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility* **23** (4): 377–382
  - R. Hiptmair, *Finite Elements in computational electromagnetism*, *Acta Numerica* (2002) 237 - 339
  - A. E. Ruehli: *Equivalent Circuit Models for Three-Dimensional Multiconductor Systems*, *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, Vol. 22 (1974), Nr. 3
  - Albanese, R. Rubinacci, G. *Integral formulation for 3D eddy-current computation using edge elements* *Physical Science, Measurement and Instrumentation, Management and Education - Reviews*, *IEE Proceedings A*, September 1988 **Vol 135**, Issue: 7 pp 457 - 462
- Gabriel CHEREGI, Florea HANTILA, Lucian OCHEANA, Mircea ARION and Gabriel BARBU, *Qualitative aspects of the quasistationary electromagnetic field*, [http://electroinf.uoradea.ro/reviste%20CSCS/documente/JEEE\\_2009/Articole\\_pdf/JEEE\\_EE\\_nr\\_1/JEEE\\_2009\\_Nr\\_1\\_EE\\_Cheregi\\_Qualitative.pdf](http://electroinf.uoradea.ro/reviste%20CSCS/documente/JEEE_2009/Articole_pdf/JEEE_EE_nr_1/JEEE_2009_Nr_1_EE_Cheregi_Qualitative.pdf)

*Aceasta este o lucrare, care exemplifica importanta abordarii calitative in analiza campului electromagnetic, bazata pe instrumente matematice moderne, ale analizei functionale.*

- Metode numerice, algoritmi stiintifici si programare:
  - Jack Dongarra and Francis Sullivan, The Top Ten Algorithms of the Century  
[http://orion.math.iastate.edu/burkardt/misc/algorithms\\_dongarra.html](http://orion.math.iastate.edu/burkardt/misc/algorithms_dongarra.html)
    - <http://www.uta.edu/faculty/rcli/TopTen/topten.pdf>
  - Y. Saad, Iterative methods for sparse linear systems (2nd ed.). SIAM, Philadelphia, 2003.
  - R. Barrett and M. Berry and T. F. Chan and J. Demmel and J. Donato and J. Dongarra and V. Eijkhout and R. Pozo and C. Romine, and H. Van der Vorst, *Templates for the Solution of Linear Systems: Building Blocks for Iterative Methods*, SIAM, 1994, Philadelphia
  - T. Davis, Direct Methods for Sparse Linear Systems. SIAM, Philadelphia, 2006
  - William H. Press, Saul A. Teukolsky, William T. Vetterling and Brian P. Flannery. *Numerical Recipes in C. The Art of Scientific Computing, 2nd Edition*, 1992, Prima editie cu Fortran in 1986
  - G. H. Golub and C. F. Van Loan, Matrix Computation, 3rd Edition, The John Hopkings University Press, 1996.
  - Gear, C. W. (1971), *Numerical Initial-Value Problems in Ordinary Differential Equations*, Englewood Cliffs: Prentice Hall.
  - K. Nabors and J.K. White, "FastCap: a multipole accelerated 3-D capacitance extraction program"; IEEE Trans. on CAD of Integrated Circuits and Systems, 1991, pp.1447-1459.
  - M. Kamon and M. J. Tsuk and J. White, FASTHENRY: A Multipole-Accelerated 3-D Inductance Extraction Program, IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 1994, vol 42 pp 1750--1758
  - B. Smith, P. Bjørstad, and W. Gropp, Domain Decomposition: Parallel Multilevel Methods for Elliptic Partial Differential Equations, Cambridge University Press, Cambridge, MA, 1996.
  - Briggs, Henson, and McCormick, "A Multigrid Tutorial, 2nd Edition," SIAM publications, 2000.
  - Hackbusch and Trottenburg, "Multigrid Methods, Springer-Verlag, 1982"
  - Pascal Getreuer, Writing Fast MATLAB Code. 11 Aug 2004 (Updated 10 Feb 2009).
  - Kernighan; Dennis M. Ritchie (March 1988). The C Programming Language (2nd ed.). Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
  
- Reducerea ordinului modelelor:
  - Eric James Grimme, "Krylov Projection Methods for Model Reduction," University of Illinois at Urbana-Champaign, 1997.
  - Yunkai Zhou, "Numerical Methods for Large Scale Matrix Equations with Applications in LTI System Model Reduction," Rice University, 2002
  - A. Odabasioglu, M. Celik, L. T. Pileggi, "PRIMA: passive reduced-order interconnect macromodeling algorithm,"

IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems, Vol. 17, no. 8, pp. 645-654, Aug. 1998.

- J. R. Phillips, "Automated extraction of nonlinear circuit macromodels," in proceedings of the Custom Integrated Circuit Conference, pp. 451-454, 2000.
  - P. Feldmann, R. W. Freund, "Efficient linear circuit analysis by Pade approximation via the Lanczos process," *IEEE Trans. Computer-Aided Design*, vol. 14, pp. 639-649, 1995.
  - Y. Chen and J. White, "A Quadratic Method for Nonlinear Model Order Reduction," International Conference on Modeling and Simulation of Microsystems, Semiconductors, Sensors and Actuators, San Diego, March 2000.
  - Z. Bai, "Krylov subspace techniques for reduced-order modeling of large-scale dynamical systems," *Applied Numerical Mathematics*, Vol. 43, pp. 9-44, May 2002.
  - B. Gustavsen and A. Semlyen, "Rational approximation of frequency domain responses by vector fitting", *IEEE Trans. Power Delivery*, vol. 14, no. 3, pp. 1052-1061, July 1999.
- Principalele serii de conferinte internationale corelate cu Bazele electrotehnicii si modelarea electromagnetica:
    - COMPUMAG Proceedings 1978... 2011.
    - SCEE Proceedings
    - ENDE Proceedings
    - DAC - Design Automation Conference Proceedings
    - ICCAD Proceedings
  - Situri web remarcabile:
    - [http://en.wikipedia.org/wiki/Main\\_Page](http://en.wikipedia.org/wiki/Main_Page)
    - [http://web.mit.edu/mor/about\\_mor.html](http://web.mit.edu/mor/about_mor.html)
    - <http://www.rle.mit.edu/cpg/>
    - <http://www.mcs.anl.gov/petsc/>
    - [http://homepage.usask.ca/~ijm451/finite/fe\\_resources/](http://homepage.usask.ca/~ijm451/finite/fe_resources/)
    - <http://www.boundaryelements.com/index.php>
    - <http://www.energy.sintef.no/Produkt/VECTFIT/>
    - <http://www.nr.com/>
    - <http://www.cise.ufl.edu/research/sparse/umfpack/>
    - <http://www.netlib.org/>
    - <http://www.dealii.org/>
    - <http://www.hlib.org/>
    - <http://www.cgal.org/>
    - <http://www.sam.math.ethz.ch/~hiptmair/Homepage/abstract.html>
    - <http://www.mathworks.com/>
    - <http://www.mathworks.com/matlabcentral/>
    - [http://www.sal.ufl.edu/NewComers/matlab\\_optimization\\_2.pdf](http://www.sal.ufl.edu/NewComers/matlab_optimization_2.pdf)

- <http://bwrc.eecs.berkeley.edu/classes/icbook/spice/>
- <http://www.linear.com/designtools/software/>
- <http://www.comsol.com/>
- <http://www.ansys.com/>
- <http://www.cst.com/>

Persoanele pe care le-am cunoscut si m-au influentat cel mai mult atat in gandire cat si in actiune: R. Radulaet, Al Timotin. C. I. Mocanu, A. Tugulea, M. Preda, P. Cristea, F.M.G. Tomescu, C. Fluerasu, G Hortopan, Al Fransua, M. Rosculet, I. Sabac, Gr. Moisil, R. Voinea, P. Dimo, R. Marculescu, L. Popeea, Vl. Ionescu, Dan Pascali, G. Soros, E. Constantinescu, Fl Hantila, Fl Constantinescu, A. Bossavit, D. Rodger, T. Weiland, K. Richter, K. Miya, N. Ida, G. Rubinacci, J. Tegopoulos, T. Tsiboukis, Z. Cendes, M. Poloujadoff, G. Molinari, B. Courtois, W Trowbridge, WHA Schielders. D. DeZutter, N. van der Meijs, M. Anile, M. Silveira, Z. Ren si bineinteles colaboratoarele mele I. Munteanu si G. Ciuprina.

## 8. Ce urmeaza?

- Pastrarea echilibrului intre aspectele fizice , matematice si algoritmice va ramane o provocare pe masura dezvoltarii celor trei stiinte si a aplicatiilor tot mai diverse si avansate ale ingineriei electrice (frecvente tot mai ridicate, dimensiuni tot mai mici sau tot mai mari, materiale mai sofisticate, energii tot mai mari sau tot mai mici, cuplarea multifizica, etc.).
- Cea mai dificila problema este si va ramane motivarea studentilor pentru a investi in propria cariera. Selectarea unor aplicatii interesante si utile va putea contribui la intelegerea importantei disciplinei si cresterea motivatiei studentilor.
- Exeprimentul CS221 de la Stanford trebuie sa ne ingrijoreze. 125 000 de participanti din peste 100 tari la acest curs. Peter Norvig crede ca in mai putin de 30 ani vor ramane maxim 10 universitati in intreaga lume care vor oferi servicii de invatamant superior. Cursurile vor fi relaizate ca filmele la Hollywood, cu buget si echipe de productie pe masura. Profesorul va deveni regizorul productiei.
- Globalizarea va impune tot mai mult colaborarea internationala atat cu echipe din lumea universitara a altor tarii cat si a cu partenri industriali, in special cu companiile multinationale. Va trebui sa raspundem cererii de educatie solicitate de acestor companii, altfel absolventii nostri nu vor avea sanse in cariera. Nu trebuie sa uitam ca ei vor concura pe piata Europeana a muncii.
- Continutul si modul de predare al disciplinei nu trebuie sa fie cu nimic mai prejos de felul in care se desfasoara lucrurile in cele mai importante universitati ale lumii. Exigenta trebuie sa fie pe masura. Daca vom continua scaderea ei, vom pierde competitia internationala si vom disparea ca institutie. Fara creditul unui invatamant de calitate nu rezistam.

## 9. Intrebari supuse discutiei

1. Este bine sa se prezinte teoria circuitelor inainte sau dupa teoria campului eelctromagnetic?

2. Exista o alegere optima pentru marimile primitive ale electromagnetismului macroscopic? Sau este mai bine sa se prezinte diferitele alegeri cu avantajele si dezavantajele lor?
3. Sunt cele patru legi generale, cele trei legi de material si cele doua legi de transfer un sistem (independent, consistent si complet) de axiome pentru teoria macroscopica a electromagnetismului?
4. In ce masura este utila prezentarea semnificatiilor microscopice in teoria macroscopica a electromagnetismului? Ce importanta are prezentarea aspectelor electrodinamicii relativiste. Dar a aspectelor cuantice? Cum pot fi facute toate acestea in mod simplu si fara a intra prea adanc pe terenul fizicii?
5. Care sunt aplicatiile fundamentale care trebuie sa ilustreze cursul pentru a fi atractiv si convingator? Intrebarea se refera atat la camp cat si la circuite.
6. Ce deprinderi trebuie urmarite mai ales la seminar si laborator? Care sunt metodele de analiza a circuitelor cu care studentii trebuie sa se familiarizeze. Dar cele de analiza campului? Mai este metoda integralelor coulombine relevanta? Presupunand ca nu ar exista restrictii financiare, cu ce ar trebui dotate laboratoarele si care ar trebui sa fie deprinderile experimentale ce ar trebui capatate?
7. Care sunt teoremele fundamentale ale electromagnetismului? Teorema energiei electromagnetice in medii mobile sau teoreme impulsului electromagnetic sunt fundamentale? Dar teorema reciprocitatii?
8. Este fundamentala formularea slaba a ecuatiilor campului electromagnetic? Trebuie fundamentata metoda elementelor finite, prin formele variationale: de minimizare a functionalei de energie sau prin metodele de proiectie? Sunt de maxima importanta ecuatiile integrale ale campului, ecuatii care stau la baza metodei momentelor sau a elementelor de frontiera?
9. Cat de utila este familiarizarea studentilor cu fundamnetele analizei numerice a campului electromagnetic? Dar cu utilizarea unui program profesional de calcula al campului?
10. Care sunt ipotezele teoriei circuitelor electrice? Cum trebuie ele prezentate studentilor?
11. Cat de importanta este prezentarea electromagnetismului in perspectiva sa istorica, pornind de la experientele fundamentale (Coulomb, Ampere, Faraday, Ohm, Kirchhoff, Joule) si construind sub-teoriile campului electrostatic, magnetostatic in vid si apoi in corpuri, dupa care generalizand rezultatele sa se arate cum a fost construit sistemul legilor?
12. Cat de importanta credeti ca sunt aspectele metrologice (experimentele virtuale care definesc marimile primitive prin procedeele lor de masurare, SI si perspectiva sa, principiile metodelor si aparatelor de masura pentru marimile electrice)?
13. Cat de importante sunt aspectele matematice ale disciplinei? Dar cele ce tin de teoria sistemelor?
14. Cum trebuie prezentate aspectele matematice si cele algoritmice pentru studentii care nu au cunostinele minimale necesare de matematici aplicate si de programarea calculatoarelor?
15. Ce importanta mai au astazi metodele sistematice de analiza a circuitelor electrice de tip curenti ciclici?
16. Cat de importanta mai este deprinderea de a rezolva manual (cu calculatorul de buzunar) circuite electrice de curent alternativ in complex? Nu este mai utila folosirea MATLAB pentru o astfel de sarcina? Este util pentru studenti sa scrie mici programe de analiza nodala a circuitelor?
17. Care sunt teoremele fundamentale ale teoriei circuitelor electrice? Cum pot fi prezentate acestea cel mai simplu studentilor?
18. Ce tipuri de exercitii trebuie facute pentru a intelege folosire progrmaului SPICE?

19. Este utila intelegerea principiilor care stau la baza analizei numerice a circuitelor electrice - de exemplu, arhitectura interna SPICE si a limitelor sale?
20. Este utila pentru studenti analiza simbolica a circuitelor electrice? Cum poate fi ea predata in mod eficient?
21. Care este modul optim de a repartiza sarcinile studentilor? Teme de casa, mici proiecte, eseuri, cercetari bibliografice, cercetare stiintifica, etc. Cat de importanta este invatarea prin exemple? Care este modul cel mai intelept de evaluare a cunostintelor si deprinderilor lor? Cu sau fara cartile pe masa? Teze cu subiect teoretic, probleme, teste grila?