



FIȘA DISCIPLINEI

1. Date despre program

1.1 Instituția de învățământ superior	Universitatea Națională de Știință și Tehnologie Politehnica București
1.2 Facultatea	Electronică, Telecomunicații și Tehnologia Informației
1.3 Departamentul	Dispozitive, Circuite și Arhitecturi Electronice
1.4 Domeniul de studii	Inginerie Electronică, Telecomunicații și Tehnologii Informaționale
1.5 Ciclul de studii	Masterat
1.6 Specializarea	Microsisteme

2. Date despre disciplină

2.1 Denumirea disciplinei (ro) (en)	Microsisteme electromecanice pentru radiofrecvența						
2.2 Titularul activităților de curs	Prof.dr.ing. Dan NECULOIU						
2.3 Titularul activităților de seminar / laborator	Prof.dr.ing. Dan NECULOIU						
2.4 Anul de studiu	2	2.5 Semestrul	I	2.6. Tipul de evaluare	E	2.7 Regimul disciplinei	Ob
2.8 Tipul disciplinei	DA	2.9 Codul disciplinei	UPB.04.M3.O.03-15	2.10 Tipul de notare	Nota		

3. Timpul total estimat (ore pe semestru al activităților didactice)

3.1 Număr de ore pe săptămână	4	Din care: 3.2 curs	2.00	3.3 seminar/laborator	2
3.4 Total ore din planul de învățământ	56.00	Din care: 3.5 curs	28	3.6 seminar/laborator	28
Distribuția fondului de timp:					ore
Studiul după manual, suport de curs, bibliografie și notițe					
Documentare suplimentară în bibliotecă, pe platformele electronice de specialitate					65
Pregătire seminarii/ laboratoare/proiecte, teme, referate, portofolii și eseuri					
Tutorat					0
Examinări					4
Alte activități (dacă există):					0
3.7 Total ore studiu individual	69.00				
3.8 Total ore pe semestru	125				
3.9 Numărul de credite	5				

4. Precondiții (acolo unde este cazul)

4.1 de curriculum	Dispozitive Electronice, Microunde, Circuite Electronice Fundamentale, Modelarea Componentelor Microelectronice Active
4.2 de rezultate ale învățării	Cunoștințe generale de fizică, dispozitive electronice, circuite electronice, modelare, propagarea câmpului electromagnetic, linii de transmisie



5. Condiții necesare pentru desfășurarea optimă a activităților didactice (acolo unde este cazul)

5.1 Curs	Cursul se va desfășura într-o sală dotată cu videoproiector și computer și care are facilitățile necesare pentru predarea on-line.
5.2 Seminar/ Laborator/Proiect	Proiectul se va desfășura într-o sală dotată cu calculator, videoproiector și facilitățile necesare pentru predarea on-line. Pachetele software vor fi cele cu distribuție gratuită (CST Student Edition, Sonnet Lite). Este obligatorie respectarea termenelor intermediare și finale pentru proiect.

6. Obiectiv general *(Se referă la intențiile profesorilor pentru studenți, la ceea ce studenții vor fi învățați în timpul cursului. Oferă o orientare cu privire la locul cursului în cadrul domeniului științific abordat, precum și la rolul pe care acesta îl are în cadrul specializării studiate. Vor fi descrise de o manieră generală tematicile abordate, justificarea includerii cursului în planul de învățământ al specializării studiate etc.)*

- Disciplina se studiază în cadrul specializării "Microsisteme" și își propune să familiarizeze studenții cu principalele abordări, modele și teorii explicative ale specializării în domeniul radiofrecvență și microunde, utilizate în rezolvarea de aplicații practice și probleme, cu relevanță pentru stimularea procesului de învățare la studenți.
- Disciplina abordează ca tematică specifică principiile de funcționare pentru microsistemele electromecanice utilizate în domeniul microundelor. Studenții sunt familiarizați cu influența dezvoltării tehnologice pentru inovarea în domeniul cursului, inclusiv cu influența nanotehnologiilor în domeniul creșterii de straturi semiconductoare și a nanolitografiei.
- După trecerea în revistă a propagării pe diferite medii de transmisie cu accent pe liniile de transmisie planare utilizate în MIC și MMIC, sunt prezentate componentele RFMEMS bazate pe microcomutatoare actuate electrostatic. Este prezentată în detaliu modelarea electrostatică și mecanică și circuitele echivalente la înaltă frecvență. Sunt prezentate tehnicile de modelare numerică 3D utilizând pachetele de programe de simulare electromagnetice.
- Sunt prezentate în detaliu tehnologiile de fabricare utilizând microprelucrarea de suprafață și microprelucrarea de volum. Sunt prezentate principalele aplicații în domeniul microundelor: filtre și antene de mare performanță, circuitele de defazare și atenuatoarele variabile, microsisteme frontend de recepție de tip RFMEMS.
- Sunt prezentate principiile de bază ale RFMEMS cu unde acustice de volum și de suprafață, cu deschidere spre aplicații de filtrare și propagare.
- Toate acestea contribuie la transmiterea/formarea către/la studenți a unei viziuni de ansamblu asupra reperelor metodologice și procedurale aferente domeniului și constituie un punct solid pentru dezvoltarea competențelor în noi domenii (de exemplu tehnologiile 6G care impun creșterea frecvențelor de lucru până în domeniul undelor milimetrice 30-300 GHz).

7. Competențe *(Capacitatea dovedită de a utiliza cunoștințe, aptitudini și abilități personale, sociale și/sau metodologice în situații de muncă sau de studiu și pentru dezvoltarea profesională și personală. Reflectă cerințele angajatorilor.)*



Specifice	<p>Demonstrează că deține cunoștințe de bază și avansate în domeniul "Microsisteme" operând la frecvențe de 1-300 GHz. Utilizează cunoștințele, metodele și instrumentele software adecvate pentru implementarea soluțiilor ingineresti în domeniu. Identifică soluții pentru problema identificată.</p> <p>Studentul va acumula următoarele competențe:</p> <p>C1. Utilizarea elementelor fundamentale referitoare la funcționarea, modelarea, proiectarea și aplicațiile privind microsistemele electromecanice de microunde și unde milimetrice.</p> <p>C2. Cunoașterea structurii, funcționării și modelării microsistemelor electromecanice și identificarea principalelor aplicații de circuit.</p> <p>C3. Cunoașterea structurii și modelarea liniilor de transmisie planare utilizate în circuitele integrate de microunde.</p> <p>C4. Utilizarea instrumentelor software avansate pentru simularea electromagnetică a microsistemelor electromecanice.</p> <p>C5. Proiectarea microsistemelor electromecanice utilizând tehnici analitice și numerice avansate.</p> <p>C6. Modelarea dispozitivelor piezoelectrice de microunde.</p> <p>C7. Comunicare orală și în scris în limba română: utilizează vocabularul științific specific domeniului, în vederea comunicării eficiente, în scris și oral.</p> <p>C8. Comunicare orală și în scris într-o limbă străină (engleză): demonstrează înțelegerea vocabularului aferent domeniului, precum și faptul că o parte din termenii în engleză sunt inserați în DEX</p>
Transversale (generale)	<p>CT1. Adaptarea la noile tehnologii, dezvoltarea profesională și personală, prin formare continuă folosind surse de documentare tipărite, software specializat și resurse electronice în limba română și în limba engleză.</p> <p>CT2. Lucrează în echipă și comunică eficient, coordonându-și eforturile cu ceilalți pentru rezolvarea de situații problemă de complexitate medie, mai ales în mediul online.</p> <p>CT3. Abilitatea de a gândi în termeni științifici, de a căuta și analiza date în mod independent, precum și de a desprinde și prezenta concluzii / identifica soluții.</p> <p>CT4. Capacitate de analiză și sinteză: prezintă în mod sintetic cunoștințele dobândite, ca urmare a unui proces de analiză sistematică, conform prezentărilor la proiect.</p> <p>CT5. Respectă principiile de etică academică: în activitatea de documentare citează corect sursele bibliografice utilizate în rapoartele diferitelor etape de proiect și laborator.</p>

8. Rezultatele învățării (Sunt enunțuri sintetice referitoare la ceea ce un student va fi capabil să facă sau să demonstreze la finalizarea unui curs. Rezultatele învățării reflectă realizările studentului și mai puțin intențiile profesorului. Rezultatele învățării informează studenții despre ceea ce se așteaptă de la ei din punct de vedere al performanței, pentru a obține notele și creditele dorite. Sunt definite în termeni concreți, folosind verbe similare exemplurilor de mai jos și indică ceea ce se va urmări prin evaluare. Rezultatele învățării vor fi astfel redactate încât să fie evidențiată clar relația față de competențele definite la punctul 7.)



Cunoștințe	<p><i>Rezultatul asimilării de informații prin învățare. Cunoștințele reprezintă ansamblul de fapte, principii, teorii și practici legate de un anumit domeniu de muncă sau de studiu. Pot fi teoretice și/sau faptice.</i></p> <ul style="list-style-type: none">• Dezvoltarea domeniului este marcată de împletirea armonioasă a dezvoltării tehnologice cu inventarea de noi dispozitive (de exemplu cele bazate pe diferite domenii ale fizicii: mecanic, electrostatic, electromagnetic, piezoelectric) și modelarea avansată inclusiv cea bazată pe tehnici numerice (favorizată de creșterea performanțelor sistemelor de calcul și implementarea de pachete software avansate).• Notionile specifice domeniului asimilate de studenți îmbină cunoștințele referitoare la dispozitivele pentru microunde (principii de funcționare, modelare, caracterizare) cu cele legate de propagarea pe linii de transmisie planare și propagarea undelor acustice de volum și de suprafață.
Aptitudini	<p><i>Capacitatea de a aplica cunoștințe și de a utiliza know-how pentru a duce la îndeplinire sarcini și a rezolva probleme. Aptitudinile sunt descrise ca fiind cognitive (implicând utilizarea gândirii logice, intuitive și creative) sau practice (implicând dexteritate manuală și utilizarea de metode, materiale, unelte și instrumente).</i></p> <ul style="list-style-type: none">• Absolvenții acestei discipline pot să selecteze informațiile relevante nu numai pentru microsistemele electro-mecanice de microunde, dar și pentru dispozitivele bazate pe efectul piezoelectric pentru generarea undelor acustice.• Absolvenții sunt stimulați să utilizeze argumentat principii specifice în vederea aplicațiilor microsistemelor de foarte înaltă frecvență.• Absolvenții sunt stimulați să lucreze productiv în echipă, la aprofundarea unor concepte și la temele de proiect.• Absolvenții trebuie să redacteze rapoarte științifice și sunt stimulați să prezinte realizările în cadrul unor sesiuni publice în fața colegilor.• Absolvenții sunt stimulați să dezvolte temele de proiect în cadrul activităților de cercetare pentru dizertație și să verifice experimental soluții identificate.• Absolvenții acestei discipline sunt stimulați să rezolve aplicații practice, în exerciții la curs sau la temele individuale de casă.• Identifică soluții și elaborează planuri de rezolvare proiecte. Formulează concluzii la rezultatele obținute.



Responsabilitate și autonomie	<p><i>Capacitatea cursantului de a aplica în mod autonom și responsabil cunoștințele și aptitudinile sale.</i></p> <ul style="list-style-type: none">• Studentii sunt stimulați să selecteze surse bibliografice adecvate disciplinei și să le analizeze.• Studentii sunt stimulați să respecte principiile de etică academică, citând corect sursele bibliografice utilizate în rapoartele de proiect.• Studentii sunt stimulați să demonstreze receptivitate pentru contexte noi de învățare, inclusiv on-line, fiind invitați și angrenați să-și expună rezultatele originale la sesiuni studentesti și conferințe de specialitate.• Studentii sunt stimulați să colaboreze cu ceilalți colegi și cu cadrele didactice.• Studentii sunt stimulați să demonstreze autonomie în organizarea situației/contextului de învățare sau a situației problemă de rezolvat, în timpul rezolvării temelor de proiect.• Studentii sunt stimulați să manifeste responsabilitate socială prin implicarea activă în viața socială studentască/comunitatea academică.• Studentii sunt stimulați să promoveze soluții noi, aferente domeniului de specialitate, oferind lucrări și fiind stimulați să le continue la Disertație.• Studentii sunt stimulați să conștientizeze valoarea contribuției sale în domeniul ingineriei la identificarea de soluții sustenabile care să rezolve probleme din viața socială și economică (responsabilitate socială).• Studentii sunt stimulați să aprecieze analiza impactului tehnologic al soluțiilor propuse în domeniul de specialitate asupra mediului înconjurător și pentru o dezvoltare durabilă.• Studentii sunt stimulați să demonstreze abilități de management al situațiilor din viața reală ca gestionarea timpului de colaborare la o temă comună.
--	--

9. Metode de predare *(Se vor avea în vedere metode care să asigure predarea centrată pe student. Se va descrie modul în care se asigură participarea studenților la stabilirea propriului parcurs de învățare, cum se identifică eventualele rămăneri în urmă și ce măsuri remediale se adoptă în astfel de cazuri.)*

Pornindu-se de analiza caracteristicilor de învățare ale studenților și de la nevoile lor specifice, procesul de predare va explora metode de predare atât expositive (prelegerea, expunerea), cât și conversative-interactive, bazate pe modele de învățare prin descoperire facilitate de explorarea directă și indirectă a realității (experimentul, demonstrația, modelarea), dar și pe metode bazate pe acțiune, precum exercițiul, activitățile practice și rezolvarea de probleme.

În activitatea de predare vor fi utilizate prelegeri, în baza unor prezentări Power Point sau diferite filmulețe care vor fi puse la dispoziția studenților. Fiecare curs va debuta cu recapitularea capitolelor deja parcurse, cu accent asupra noțiunilor parcurse la ultimul curs.

Prezentările utilizează imagini și scheme, astfel încât informațiile prezentate să fie ușor de înțeles și asimilat.

Acestă disciplină acoperă informații și activități practice menite să-i sprijine pe studenți în eforturile de învățare și de dezvoltare a unor relații optime de colaborare și comunicare într-un climat favorabil învățării prin descoperire.

Se va avea în vedere exersarea abilităților de ascultare activă și de comunicare asertivă, precum și a mecanismelor de construcție a feedback-ului, ca modalități de reglare comportamentală în situații diverse și de adaptare a demersului pedagogic la nevoile de învățare ale studenților.

Se va exersa abilitatea de lucru în echipă pentru rezolvarea diferitelor sarcini de învățare

10. Conținuturi



CURS		
Capitolul	Conținutul	Nr. ore
1	Introducere. Domeniul RFMEMS (RF Micro-Electrical Mechanical Systems). Avantajele RFMEMS. Materiale pentru RFMEMS. Microsenzori și actuatori pentru MEMS	2
2	Fabricarea RFMEMS. Depunerea straturilor subțiri metalice și dielectrice. Fotolitografia. Microprelucrarea de volum (Tehnici de corodare; Microprelucrarea prin corodare umedă; Microprelucrarea prin corodare uscată). Microprelucrarea de suprafață. Fluxuri tehnologice de fabricare a membranelor dielectrice	4
3	Bazele proiectării RFMEMS. Introducere. Modelarea microstructurilor mecanice (Modelare statică; Modelare dinamică; Modelare numerică; Modelarea cu circuite echivalente la înaltă frecvență; Modelarea electromagnetică la înaltă frecvență). Modelarea RF MEMS realizate pe membrane dielectrice subțiri. Proiectarea neliniară a RF MEMS	4
4	Microcomutatoare RFMEMS. Introducere, clasificare și integrarea cu liniile de transmisie planare. Parametrii de bază ai microcomutatoarelor. Microcomutatoare cu contact rezistiv. Microcomutatoare cu contact capacitiv. Proiectarea electromecanică a microcomutatoarelor. Proiectarea electromagnetică a microcomutatoarelor	6
5	Filtre și antene fabricate prin microprelucrare. Introducere și principii de bază. Proiectarea filtrelor cu linii cuplate pe membrane dielectrice. Filtre reconfigurabile. Antene dublu slot foldat. Antene Yagi-Uda. Antene reconfigurabile. Direcții posibile de cercetare în domeniu	4
6	Microsisteme RFMEMS. Introducere. Bazele proiectării microsistemelor de recepție. Receptor cu antena dublu slot foldat fabricat prin microprelucrarea siliciului. Receptor cu antena dublu slot foldat fabricat prin microprelucrarea GaAs. Senzor pentru imagistică pasivă în unde milimetrice. Defazoare cu RFMEMS	4
7	Dispozitive RFMEMS piezoelectrice. Principii de bază. Dispozitive FBAR cu aplicații în microunde. Dispozitive SAW fabricate prin tehnici nanolitografice. Filtre și senzori piezoelectrice.	4
Total:		

Bibliografie:

D.Neculoiu, "Structuri avansate de microunde realizate prin microprelucrare", Editura Printech, 2005
G.M.Rebeiz, "RF MEMS: Theory, Design and Technology", John Wiley & Sons, 2003
H.J. De Los Santos, "RF MEMS Circuit Design for Wireless Communications", Artech House, 2002
Ken-ya Hashimoto, "Surface Acoustic Wave Devices in Telecommunications" Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2000, Springer, 2000.
A.Qun Liu, "RF MEMS Switches and Integrated Switching Circuits, Springer Science+Business Media, LLC 2010
J.Iannacci, "Practical Guide to RF-MEMS", Wiley-CH, 2013
David Morgan, "Surface Acoustic Wave Filters With Applications to Electronic Communications and Signal Processing", 2nd Edition, Elsevier, 2007.

LABORATOR

Nr. crt.	Conținutul	Nr. ore
----------	------------	---------



1	Principii de baza ale caracterizarii experimentale in domeniul microundelor si undelor milimetrice. Descrierea echipamentelor de baza.	4
2	Analizoare vectoriale de rețele. Masurarea parametrilor S	4
3	Caracterizarea experimentală a RFMEMS	6
	Total:	14

PROIECT

Nr. crt.	Conținutul	Nr. ore
1	Definirea temei de proiect. Configuratii de micro-comutatoare pentru microunde pentru diferite medii de transmisie. Modelare analitica pentru proiectare preliminara.	6
2	Tehnici de modelare numerica 3D pentru analiza electromagnetica utilizand pachetul CST Microwave Studio – Student edition	6
3	Prezentare proiect si notare	2
	Total:	14

Bibliografie:

D.Neculoiu, “Structuri avansate de microunde realizate prin microprelucrare”, Editura Printech, 2005
D.Neculoiu, Al.Muller, “Dispozitive si circuite de microunde – Aplicatii”, Editura Printech, 2001
CST manual de utilizare (2022)

11. Evaluare

Tip activitate	11.1 Criterii de evaluare	11.2 Metode de evaluare	11.3 Pondere din nota finală
11.4 Curs	Cunoasterea notiunilor de baza si a formulelor de proiectare	Test grila	50
11.5 Seminar/laborator/proiect	Activitate laborator	Evaluare raport si prezenta activa	10
	Predarea la termen a raportului stiintific tema proiect	Evaluare raport si prezenta activa	20
	Predarea la termen a raportului stiintific tema 2	Evaluare raport si prezenta activa	20
11.6 Condiții de promovare	Obținerea a 50% din punctajul total		

12. Coroborarea conținutului disciplinei cu așteptările reprezentanților angajatorilor și asociațiilor profesionale reprezentative din domeniul aferent programului, precum și cu stadiul actual al cunoașterii în domeniul științific abordat și practicile în instituții de învățământ superior din Spațiul European al Învățământului Superior (SEIS)

· Electronica pentru frecvențe înalte este o parte importantă în domeniul dispozitivelor, circuitelor pasive și active în domeniul telecomunicațiilor terestre și prin satelit, radar, aparatura de măsură, senzorială, tehnologii RFID, echipamente 4G și 5G etc. Prin activitățile desfășurate, studenții dezvoltă abilități de a oferi soluții unor probleme și de a propune idei de îmbunătățire a situației existentei în aceste domenii.

· În dezvoltarea conținutului disciplinei s-au avut în vedere cunoștințele descrise de literatura de



Universitatea Națională de Știință și Tehnologie Politehnica București

**Facultatea de Electronică, Telecomunicații și
Tehnologia Informației**




specialitate precum și cercetările proprii cercetările proprii publicate în reviste internaționale sau prezentate la conferințe de prestigiu.

· Cursul are un conținut similar cursurilor desfășurate de universități de prestigiu din SUA și Europa

Disciplina asigură absolvenților competențe adecvate cu necesitățile angajatorilor din domeniile specificate mai sus.

Data completării	Titular de curs	Titular(i) de aplicații
17.10.2024	Prof.dr.ing. Dan NECULOIU	Prof.dr.ing. Dan NECULOIU

Data avizării în departament	Director de departament
31.10.2024	Prof. Dr. Claudiu DAN 

Data aprobării în Consiliul Facultății	Decan
01.11.2024	Prof. Dr. Mihnea Udrea 