**fișa disciplinei**

**1. Date despre program**

|  |  |
| --- | --- |
| 1.1 Instituția de învățământ superior/  | Universitatea Națională de Știință și Tehnologie POLITEHNICA din București/  |
| 1.2 Facultatea | **Facultatea de inginerie aerospațială** |
| 1.3 Departamentul | **Ingineria sistemelor aeronautice si management aeronautic „Nicolae Tipei”** |
| 1.4 Domeniul de studii universitare  | Inginerie aerospațială |
| 1.5 Programul de studii universitare  | Echipamente si instalații de aviație |
| 1.6 Ciclul de studii universitare | Licență |
| 1.7 Limba de predare | Română |
| 1.8 Locația geografică de desfășurare a studiilor  | București  |

**2. Date despre disciplină**

|  |  |
| --- | --- |
| 2.1 Denumirea disciplinei /Course title(ro)(en)  | **Dinamica zborului****Flight dynamics** |
| 2.2 Titularul activităților de curs | Teodor-Viorel CHELARU |
| 2.3 Titularul activităților de proiect | Valentin PANĂ |
| 2.4 Anul de studiu | 3 | 2.5 Semestrul | II | 2.6. Tipul de evaluare | E | 2.7 Statutul disciplinei | Ob. |
| 2.8 Categoria formativă | DS | 2.9 Codul disciplinei | [UPB.09.S.06.O.01](http://aero.curs.pub.ro/2012/course/view.php?id=241)5 |

**3. Timpul total** (ore pe semestru al activităților didactice

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 3.1 Număr de ore pe săptămână | 4 | Din care: 3.2 curs | 2 | 3.3 proiect | 2 |
| 3.4 Total ore din planul de învățământ  | 56 | Din care: 3.5 curs/  | 28 | 3.6 proiect | 28 |
| Distribuția fondului de timp | ore |
| Studiul după manual, suport de curs, bibliografie și notițe. Documentare suplimentară în bibliotecă, pe platformele electronice de specialitate Pregătire proiect, teme, referate, portofolii și eseuri | 14 |
| Tutorat | 3 |
| Examinări | 2 |
| Alte activități (dacă există):  |  |
| **3.7 Total ore studiu individual** | **19** |
| 3.8 Total ore pe semestru | **75** |
| 3.9 Numărul de credite | **3** |

**4. Precondiții** (acolo unde este cazul)

|  |  |
| --- | --- |
| 4.1 de curriculum | Parcurgerea următoarelor discipline: Analiza matematica. Algebră liniară, geometrie analitică și diferențială, Ecuații diferențiale, Programarea calculatoarelor și limbaje de programare, Metode numerice în aviație, Mecanică, Mecanica fluidelor, Bazele aerodinamicii, Bazele propulsiei aerospațiale, Mecanica Avionului.  |
| 4.2 de rezultate ale învățării | Cunoașterea aprofundată a următoarelor domenii: Algebra, Analiza , Ec. diferențiale ordinare, Ec. fizicii matematice, Mecanica – Cinematica, Statică, Dinamica., Ec. mișcării generale a aparatelor de zbor; Ec. mișcării comandate in formă liniară pt. aparate de zbor, Schema structurale.  |

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

|  |  |
| --- | --- |
| 5.1 de desfășurare a cursului  | Cursul se va desfășura într-o sală dotată cu videoproiector și computer.  |
| 5.2 de desfășurare a proiectului | Proiectul se va desfășura într-o sală cu dotare specifică, care trebuie să includă rețea de calcul necesara lucrului asistat la proiect. Software: MICROSOFT VISUAL STUDIO si MATLAB preinstalate. |

**6. Obiectiv general**

Această disciplină se studiază în cadrul domeniului INGINERIE AEROSPATIALA /specializarea ECHIPAMENTE SI INSTALATII DE BORD și își propune să familiarizeze studenții cu principalele abordări, modele și teorii explicative ale domeniului, utilizate în rezolvarea de aplicații practice și probleme, cu relevanță pentru stimularea procesului de învățare la studenți.

Disciplina are ca obiectiv general **definirea unor modele de calcul pentru diferite aparate de zbor ținând cont de particularitățile acestora.**

Astfel:

* **Pentru adoptarea unor parametri de zbor potriviți tipului de aparat si evoluției acestuia,** pentru descrierea atitudinii vehiculului sunt prezentate alternativ unghiuri de atitudine tip Euler, unghiuri de rotație, cuaternionul Hamilton si parametrii Rodrigues.
* Pentru **obținerea unor ecuațiile dinamice** **in concordanță cu specificul fiecărui aparat** de zbor aceste a de sunt descrise in diferite triedre.
* **Pentru a adapta mișcarea de baza evoluției aparatului de zbor** aceastaeste analizată atât in forma generala cat si in forma decuplata.
* **Pentru o analiza detaliata a formelor liniare de mișcarea,** ecuațiile mișcării comandate sunt dezvoltate atât cuplat cat si decuplat pentru cazul aparatului de zbor tip avion (cu un plan de simetrie). Pentru aceste ecuații decuplate se separa mișcarea longitudinală în mișcarea rapida longitudinala și mișcarea lenta longitudinala (fugoida). Mișcarea laterala la rândul ei se separa in ruliu olandez si ruliu pur.
* **Pentru fiecare din aceste tipuri de mișcări sunt puși in evidentă indici calitate a zborului** care se compara cu prevederile MIL -F-8785C sau MIL-STD-1797 pentru diferite categorii de aparate si diferite faze de zbor.
* **Pentru cazul rachetelor (configurații cu două planuri de simetrie) se separa ecuațiile mișcării rapide longitudinale si de ruliu pur, indicii de calitate se definesc conform**, *STP M 40406-99* , iar interpretarea lor se face după *STP M 040421-99.*
* **Pentru analiza aparatelor cu zbor dirijat,** în baza indicilor de calitate si a ecuațiilor mișcării rapide longitudinale si laterale sunt obținute scheme structurale SISO pe canalul de tangaj, girație si ruliu scheme care vor fi utilizate in cursul de *Dirijarea aparatelor de zbor* (*DAZ*.
* **Pentru aparatele cu rotație in ruliu**, după definirea unei mișcări de baza specifice, ecuațiile de mișcare in triedrul Resal sunt liniarizate cuplat, obţinându-se formele liniare complexe ale mișcării comandate. Se obține schema structurală a mișcării rapide longitudinale care conține termeni complecși datorați cuplajului între canale prin efectul giroscopic si efectul Magnus.
* **Pentru a prezenta o gama cat mai variata de aparate de zbor** în partea aplicativă a cursuluisunt prezentate ecuațiile generale de mișcare in forma neliniara - model 6DOF, se definește mișcarea de baza si forma liniară comandata pentru: elicopter, quadcopter si un vehicul de testare cu motor racheta cu combustibil lichid (TVL). In acest context sunt indicate soluții de calcul pentru modele specifice: modelul rotorului principal al elicopterului in teoria elementului de pala, evidențiind-se comenzile de pas colectiv si pas ciclic precum si modelul rotorului anticuplu, in teoria discului actuator, evidențiindu-se comanda de pas colectiv a acestuia. Pentru cazul quadcopterului se descrie modul de forma a comenzilor cu ajutorul celor patru rotoare iar pentru TVL se descrie modul de formare a comenzilor cu ajutorul tracțiunii vectoriale si cu ajutorul sistemelor de comanda reactiva, tip RCS (Reaction Control System).
* **In cadrul proiectului** se urmărește dezvoltarea capacitații studentului de a utiliza unul din modelele de calcul a aparatelor de zbor precizate anterior. Dezvoltarea unui model se face in trei etape: definirea caracteristicilor geometrice, masice, de tracțiune si aerodinamice ale modelului; definirea modelului neliniar 6 DOF cu utilizare unui sistem de referință convenabil si a unor parametri de atitudine impuși, si analiza pe model liniar a sistemului aparat de zbor comandat cu evidențierea indicilor de calitate a zborului si încadrarea acestora in diferite clase, conform MIL sau STPM. Pentru dezvoltarea aplicațiilor sunt puse la dispoziție o serie de modele de referință, organizate pe categorii: avioane, rachete , UAV-uri, elicoptere, lansatoare, precum si trei librarii statice: ADZ, SLATEC , SLICOT, modul de utilizare a acestora in cadrul proiectelor fiind detaliat in cursul de Proiectarea asistata de calculator pentru avionică (PACA).

**7. Rezultatele învățării**

|  |  |
| --- | --- |
| **Cunoștințe** | * **Identifică** **și descrie** principiile și metodele de bază ale ingineriei aerospațiale.
* **Analizează și explică** rezultate teoretice și experimentale, documentație tehnică , fenomene și procese din domeniul aerospațial.
* **Identifică** tipul de aparat cu zbor si încadrarea în una din categorii in funcție soluția constructiva;
* **Compara** aparate cu zbor dirijat din aceeași categorie in funcție de indicii de calitate a zborului;
* **Compară** sintetic diferite modele de calcul in funcție ecuațiile cinematice;
* **Compară** sintetic diferite modele de calcul in funcție ecuațiile dinamice;
* **Explica** noțiuni specifice domeniului zborului;
* **Exemplifica performantele** de zbor prin aparate existente;
* **Diferențiază** soluțiile tehnice existente de soluțiile ipotetice ce pot fi dezvoltate.
 |
| **Abilități** | * **Operează** cu principii și metode de bază din domeniu și le asociază cu reprezentări grafice specifice domeniului ingineriei aerospațiale.
* **Aplică** principii și metode de bază din tehnologiile digitale și rezolvă probleme de complexitate medie asociate reprezentărilor grafice, bazelor de date, modelării și simulării, specifice ingineriei aerospațiale.
* **Selectează și aplică** concepte, principii și metode de bază din domeniu pentru calcule specifice unor aplicații aerospațiale.
* **Selectează și aplică** criterii, principii și metode de evaluare pentru identificarea, modelarea și experimentarea fenomenelor și proceselor specifice ingineriei aerospațiale, analizează și interpretează rezultatele obținute.
* **Elaborează** proiecte profesionale de complexitate medie prin selectarea, combinarea și utilizarea de concepte, principii, metodologii și tehnologii din domeniu.
* **Utilizează** cunoștințelor din disciplinele fundamentale ale ingineriei în efectuarea de calcule, demonstrații și aplicații, pentru rezolvarea de sarcini specifice ingineriei aerospațiale.
* **Utilizează**  programe de calcul comerciale și a tehnologiilor digitale pentru rezolvarea de sarcini specifice ingineriei aerospațiale, în general, și a celor specifice analizei și proiectării echipamentelor de dirijare, navigație și comandă a aeronavelor, în particular.
* **Modelează** și analizează dinamica aeronavelor, proiectează sistemele de comandă a zborului, a echipamentelor de stabilizare și reglare automată de la bordul aeronavelor.
* **Utilizează şi evaluează** performanțele aparatelor de bord și a echipamentelor electrice și hidraulice ale aeronavelor.
* **Întreține și inspectează** sistemele și echipamentele de avionică, efectuează diagnoza defectelor și dă soluții de reparare a acestora.
* **Selectează, combină și utilizează** cunoștințele, principiile și metodele din științele de bază ale domeniului inginerie aerospațială și asocierea acestora cu scheme funcționale și reprezentări grafice-desen tehnic pentru rezolvarea de sarcini specifice ingineriei aerospațiale si de sistem.
* **Are capacitatea** de a dezvolta un model de calcul specific unui anumit tip de aparat de zbor, pornind de la specificații preliminare **;**
* **Determina prin calcul** caracteristicile aerodinamice, masice si te propulsie pentru un aparat de zbor pornind de la specificațiile acestuia.;
* **Realizează** analiza pe model liniar pentru unaparat de zbor comandat, obține matricele de stabilitate si comanda, răspunsul la intrări standard, verifica stabilitatea și controlabilitatea;
* **Are capacitatea** se emite o specificație de proiectare pentru sistemul de comanda a unui aparate de zbor pornind de la indicii de calitate ai acestuia;
* **Realizează** evaluarea performantelor unui aparat de zbor;
* **Are capacitatea** de a identifica o eroare in funcționarea unui aparat de zbor dirijat si a propune o soluție de eliminarea a acesteia;
* **Are capacitatea** de a analiza rezultatele unor măsurători experimentale si de a identifica elementele funcționale ale aparatului de zbor;
* **Selectează** și **grupează** informații relevante într-un context dat referitoare la aparatele de zbor;
* **Creează** un text științific specific aparatelor de dirijat;
* **Formulează** puncte de vedere asupra funcționarii aparatelor de zbor;
* **Identifică** soluții și propune planuri de proiecte in domeniul aparatelor de zbor;
* **Formulează** puncte de vedere și concluzii la experimentele realizate privind aparatele de zbor;
* **Anticipează** etapele simodurile de rezolvare ale ului proiect de aparat de zbor.
 |
| **Responsabilitate și autonomie** | * **Selectează** surse bibliografice potrivite in domeniu aparatelor de zbor și le analizează.
* **Demonstrează autonomie** în învățare pe problematici specifice domeniului ingineriei aerospațiale.
* **Execută responsabil** a sarcinilor profesionale, cu respectarea valorilor și eticii profesionale, în condiții de autonomie restrânsă și asistență calificată, pe baza documentării, raționamentului logic, convergent și divergent, aplicabilității practice, evaluării, autoevaluării și deciziei optime.
* **Realizează activități** și desfășoară roluri specifice muncii în echipă pe diferite responsabilități și distribuie de sarcini pentru nivelurile subordonate, pe baza comunicării și dialogului, cooperării, atitudinii pozitive și respectului fată de ceilalți, recunoașterii diversității și multiculturalității, utilizării feed-back-ului pentru îmbunătățirea activității proprii, spiritului de inițiativă și conștientizării limitărilor impuse de echipa de conducere.
* **Autoevaluează obiectiv** nevoia de formare profesională continuă și deschiderea către învățarea pe tot parcursul vieții, precum și utilizarea eficientă a abilităților lingvistice, a cunoștințelor de tehnologia informației și a comunicării pentru dezvoltarea personală și profesională, în scopul inserției pe piața muncii și al adaptării la dinamica cerințelor acesteia.
* **Respectă principiile de etică academică,** citând corect sursele bibliografice utilizate.
* **Are capacitatea** de realiza lucrări științifice originale in domeniul aparatelor de zbor.
* **Demonstrează receptivitate** pentru contexte noi de învățare in domeniul aparatelor de zbor.
* **Manifestă colaborare** cu ceilalți colegi și cadre didactice în desfășurarea activităților didactice.
* **Demonstrează autonomie** în organizarea situației/contextului de învățare sau a situației problemă de rezolvat pentru aparatele de zbor.
* **Manifestă responsabilitate socială** prin implicarea activă în viața socială studențească/implicare în evenimentele din comunitatea academică.
* **Promovează/contribuie prin soluții noi, aferente domeniului aparatelor de zbor** pentru a îmbunătăți calitatea vieții sociale
* **Conștientizează valoarea contribuției sale în domeniul ingineriei aerospațiale** la identificarea de soluții viabile/sustenabile care să rezolve probleme din viața socială și economică (responsabilitate socială). Utilizarea de drone un transportul urban.
* **Aplică principii de etică/deontologie profesională în analiza impactului tehnologic al soluțiilor propuse** în domeniul aparatelor de zbor asupra mediului înconjurător. Programe de conversie a tehnologiilor militare la aplicații civile.
* Analizează și interpretează oportunități de afaceri/de dezvoltare antreprenorială în domeniul aparatelor de zbor. Utilizare drone pentru realizarea de servicii.
* **Demonstrează abilități de management** al situațiilor din viața reală gestionând atent timpul aferent fiecărei activități.
 |

**8. Metode de predare**

Pornindu-se de la analiza caracteristicilor de învățare ale studenților și de la nevoile lor specifice, procesul de predare va explora metode de predare atât expozitive (prelegerea, expunerea), cât și conversative-interactive, bazate pe modele de învățare prin descoperire facilitate de explorarea directa 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 in 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.

Demonstrațiile de calcul vor fi prezentate secvențial, invitând cursanții sa le completeze.

Această disciplină acoperă informații și activități practice menite să-i sprijine pe studenți în eforturile de învățare logica într-un climat favorabil învățării prin descoperire.

Dezvoltările teoretice se vor exemplifica prin soluții tehnice existente pentru diferite aparate de zbor, si modul cum modelele de calcul se adaptează acestor soluții.

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.

**9. Conținuturi**

|  |
| --- |
| **CURS** |
| **Capitolul** | **Conținutul** | **Nr. ore** |
| I | Noţiuni introductive, mişcarea în triedrul mobil;**Ecuaţiile mişcării generale în forma neliniară**Ecuaţiile cinematice ale mişcăriiEcuaţiile dinamice ale mişcării in triedrul mobil, în triedrul semi-viteza şi in triedrul ResalEcuațiile de mișcare pentru aparate de zbor cu aripa rotitoare (elicopter, quadcopter) si vehicule de testare. | **18** |
| II | **Ecuaţiile mişcării comandate în forma liniară** Liniarizarea ecuaţiilor mişcării comandate în forma generalăFormele decuplate ale ecuaţiilor mişcării comandate, mişcarea de bază, performanţeForme liniare ale ecuaţiilor mişcării longitudinaleFormele liniare ale ecuaţiilor mişcării lateraleForma liniară a mişcării rachetei cu rotaţie lentă;Evoluţia aparatului de zbor in diferite condiţii atmosferice  | **10** |
|  | **Total:** | **28** |
| **Bibliografie:**1. **Chelaru T.V.,** "Dinamica zborului (Seria EIA - 2023)", MOODLE, 172p, <https://archive.curs.upb.ro/2023/course/view.php?id=12679>
2. Chelaru T.V., Dinamica Zborului – Note de curs, Ediţia a 2-a revizuita Ed. Politehnica Press, ISBN 978-606- 515-612-8, 187 pag. Bucureşti, iulie 2015.
3. Chelaru T.V. Dinamica Zborului – Proiectarea avionului fără pilot , Ed. Printech, Bucureşti, ISBN 973-652-751-4, 308 pag, aprilie 2003.
4. Chelaru T.V. Dinamica Zborului–Racheta dirijată, Ed a II-a revizuita şi adăugită , Ed. Printech, ISBN 973-718-013-5,Bucureşti, 434 pag. ,mai 2004.
5. x x x,STP M 40405-96 Caracteristici geometrice şi aerodinamice ale rachetei-Terminologie şi simboluri , Bucureşti,1995.
6. x x x, STP M 40406-99 Sistemul rachetă comandată-Terminologie şi simboluri, Bucureşti, 1998.
7. x x x, STP M 40420-96 Derivatele coeficienţilor torsorilor dinamici-Terminologie şi simboluri, Bucureşti, 1995.
8. x x x, STP M 040421-99 Indici de calitate a zborului rachetei comandate-Condiţii tehnice generale, Bucureşti, 1998
 |

|  |
| --- |
| **PROIECT** |
| **Nr. crt.**  | **Conținutul** | **Nr. ore** |
| 1. | **Alegerea unui model de referință , definirea principalelor caracteristici ale acestuia:**- definirea caracteristicilor geometrie, de mase și de tracțiune | 4 |
| 2. | **Determinarea prin calcul a caracteristicilor aerodinamice**-definirea caracteristicilor aerodinamice a suprafețelor izolate, a fuzelajului izolat și a interferențelor;determinarea termenilor de dezvoltare a coeficienților aerodinamici | 6 |
| 3. | **Determinarea indicilor de calitate a zborului**- determinarea indicilor principali de stabilitate și comandă; - determinarea indicilor secundari de stabilitate și comandă- analiza și interpretarea rezultatelor | 6 |
| 4. | **Determinarea principalelor performanțe de zbor**- determinarea anvelopei de zbor;- zborul planat;- zborul ascensional | 6 |
|  | **Simularea zborului pentru diferite tipuri de evoluții comandate**- simularea zborului orizontal;- simularea zborului ascensional- simularea zborului în picaj- evoluții acrobatice/ de luptă | 6 |
|  | **Total:** | **28** |
| Bibliografie:1. **Chelaru T.V.,** "Dinamica zborului (Seria EIA - 2023)", MOODLE, 172p, <https://archive.curs.upb.ro/2023/course/view.php?id=12679>
2. **Chelaru T.V.,** *Dinamica zborului – Îndrumar de proiect*, Ed Politehnica Press, ISBN 978-606-515-445-2, 161 pag. Bucureşti, martie 2013.
3. **Chelaru T.V.** *Sisteme de conducere a zborului – îndrumar de proiectare*, *Ed a II-a* *revizuita şi adăugită* , ISBN 973 718-440-8, Ed. Printech, Bucureşti, 159 pag, martie 2006.
4. x x x, *STP M 40455-99 ‑Sistemul rachetă dirijată- Terminologie şi simboluri,* Bucureşti, 1998*.*
5. x x x, *SLATEC 3.0* *-bibliotecă matematică generală de programe în limbaj FORTRAN,* realizată de următoarele laboratoare de cercetări : Air Force Weapons Laboratory; Lawrence Livermore National Laboratory; Los Alamos National Laboratory; Magnetic Fusion Energy Computing Center; National Bureau of Standards; Sandia National Laboratories (Albuquerque & Livermore); Martin Marietta Energy Systems; Incorporated at Oak Ridge National Laboratory, SUA,1986.
6. x x x, SLICOT(Subroutine Library in Control Theory)- bibliotecă de programe FORTRAN pentru teoria de sistem, elaborată de NAG (Numerical AlgorithmsGroup),Anglia,1989.
7. x x x, STARPAC (the Standars Time Series and Regression Package) bibliotecă de programe FORTRAN pentru analiza statistică a datelor, dezvoltată de Statistical Engineering Division (SED) de la National Bureau of Standards (NBS), Boulder, Colorado-SUA, 1987.
8. x x x, PDAS V5 - Public Domain Aeronautical Software ,Standard Atmosphere , AUTHOR - Ralph L. Carmichael.
 |

**10. Evaluare**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Tip activitate | 10.1 Criterii de evaluare | 10.2 Metode de evaluare | 10.3 Pondere din nota finală |
| 10.4 Curs | Rezolvarea subiectelor de examen | Examen scris | 50% |
| Cunoașterea sistemelor de referință si a parametrilor de zbor pentru diferite vehicule. Capacitatea de elaborare a unui model cu 6 grade de libertate pentru principalele aparate de zbor. Capacitatea de definirea a mișcării de baza si liniarizarea ecuațiilor de mișcării in forma matriceala si in forma decuplata. Elaborarea schemei structurale a mișcării comandate pentru diferite aparate de zbor.  |  |  |
|  |  |
| 10.5 Proiect | Parcurgerea si înțelegerea etapelor proiectului | Evaluare proiect si alte notari | 30%20% |
| Evaluarea performantelor aparatelor cu zbor dirijat.  |  |  |
| 10.6 Condiții de promovare |
| Obținerea a 50% din punctajul total. |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Data completării  | Titular de cursProf. Teodor-Viorel CHELARU | Titular de aplicațiiSL Valentin PANA |
|  |  |  |
|  |  |  |
| Data avizării în departament  | Director de departament Prof. Teodor-Viorel CHELARU\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ |
|  |  |
| Data aprobării în Consiliul Facultății | Decan Prof. Daniel-Eugeniu CRUNTEANU |