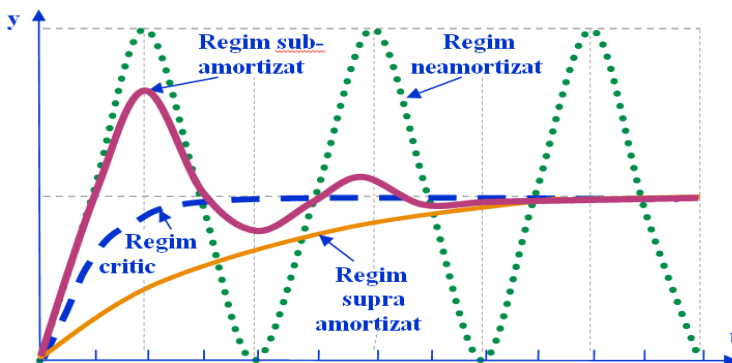
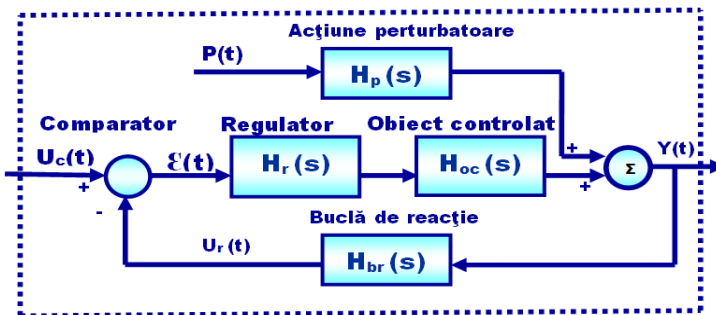




## TEORIA SISTEMELOR ȘI REGLARE AUTOMATĂ

### *Note de curs*



Chișinău  
2022

**UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI**  
**FACULTATEA ENERGETICĂ ȘI INGINERIE ELECTRICĂ**  
**DEPARTAMENTUL INGINERIE ELECTRICĂ**

**TEORIA SISTEMELOR ȘI REGLARE AUTOMATĂ**

*Note de curs*

**Chișinău**  
**Editura „Tehnica-UTM”**  
**2022**

**CZU 681.5(075.8)**

**T 23**

Lucrarea a fost discutată și aprobată pentru editare de către Consiliul Facultății Energetică și Inginerie Electrică, proces verbal nr.6 din 30 iunie 2022.

Notele de curs la disciplina *Teoria sistemelor și reglare automată* sunt destinate studenților specialităților *Ingineria sistemelor electromecanice, Ingineria sistemelor de energii regenerabile și Inginerie și managementul calității*, Departamentul Inginerie Electrică, Facultatea Energetică și Inginerie Electrică a UTM, dar poate fi utilă și tuturor celor care activează sau intenționează să activeze în domeniul cercetării și dezvoltării sistemelor de comandă și/sau reglare automată.

Notele de curs se bazează pe lucrări contemporane în domeniul abordat și sunt axate pe formarea cunoștințelor teoretice și abilităților practice de sinteză și analiză a sistemelor automate liniare, neliniare și a celor de reglare numerică. În acest scop, sunt abordate subiecte referitoare la crearea modelului matematic al sistemelor automate, determinarea funcției de transfer, construirea caracteristicilor de frecvență, determinarea nivelului de stabilitate și a indicilor de calitate ai acestora.

Autor: conf. univ., dr. Alexandru TARLAJANU

Recenzent: conf. univ., dr. Ilie NUCA

**DESCRIEREA CIP A CAMEREI NAȚIONALE A CĂRȚII DIN RM**

**Tarlajanu, Alexandru.**

Teoria sistemelor și reglare automată: Note de curs / Alexandru Tarlajanu; Universitatea Tehnică a Moldovei, Facultatea Energetică și Inginerie Electrică, Departamentul Inginerie Electrică.

– Chișinău: Tehnica-UTM, 2022. – 141 p.: fig., tab.

Aut. indicat pe vs. f. de tit. – Bibliogr.: p. 139-141 (36 tit.). – 50 ex.

Redactor: E. Balan

Bun de tipar 03.11.22

Formatul hârtiei 60x84 1/16

Hârtie ofset. Tipar RISO

Comanda nr. 99

UTM, bd. Ștefan cel Mare și Sfânt, 168, MD-2004, Chișinău  
Editura "Tehnica-UTM", str. Studenților, 9/9, MD-2045, Chișinău

**ISBN 978-9975-45-855-9**

**© UTM, 2022**

# Cuprins

<b>1. PRELIMINARII</b>	<b>5</b>
1.1. Scopul și obiectivele disciplinei	5
1.2. Introducere în lumea sistemelor	6
1.3. Premisele istorice ale automaticii	11
1.4. Clasificarea sistemelor automate	15
1.5. Definiții și concepte de realizare a sistemelor automate	18
1.6. Noțiuni de statism al sistemelor automate	25
<b>2. REPREZENTAREA MATEMATICĂ A SISTEMELOR</b>	<b>29</b>
2.1. Concepte și categorii de sisteme	29
2.2. Modelarea sistemelor statice	30
2.3. Modelarea sistemelor dinamice	34
<b>3. METODA OPERAȚIONALĂ LAPLACE ȘI FUNCȚIA DE TRANSFER</b>	<b>41</b>
3.1. Funcția de transfer	42
3.2. Funcția de transfer a unor elemente ale sistemelor automate	43
3.3. Algebra funcțiilor de transfer a sistemelor compuse	44
3.4. Funcția de transfer a sistemului automat	47
3.5. Caracteristicile funcționale ale reguletoarelor parametrice	49
3.6. Funcția de transfer a obiectelor conduse cu componente electromecanice de putere	56
<b>4. CARACTERISTICI DE FRECVENȚĂ</b>	<b>63</b>
4.1. Caracteristica locul geometric de transfer	54
4.2. Caracteristicile amplitudine-pulsație și fază-pulsație	67
4.3. Construirea caracteristicilor de frecvență	70
<b>5. STABILITATEA SISTEMELOR</b>	<b>75</b>
5.1. Criterii algebrice de stabilitate	77
5.2. Criterii frecvențiale de stabilitate	81
<b>6. CALITATEA PROCESULUI DE REGLARE AUTOMATĂ</b>	<b>88</b>
6.1. Indicii de calitate asociați răspunsului sistemului la variația treaptă a mărimii de intrare	89
6.2. Indicii de calitate ca răspuns la frecvență	92
6.3. Indicii de calitate asociați stabilității sistemului	93

6.4. Indicii globali de calitate	96
<b>7. SINTEZA SISTEMELOR AUTOMATE LINIARE</b>	<b>98</b>
7.1. Noțiuni generale referitoare la cercetare și dezvoltare în domeniul sistemelor tehnice	98
7.2. Stabilirea și realizarea proiectului de dezvoltare a produsului	99
7.3. Planul de încercări a produsului	103
7.4. Aspecte generale ale procesului de sinteză a sistemelor automate	104
7.5. Cerințe impuse pentru un sistem automat liniar	105
7.6. Corecția sistemelor automate	114
7.7. Corecția mărimilor perturbatoare ale sistemului automat	118
7.8. Elemente de corecție a sistemelor automate	119
<b>8. NOȚIUNI DE SISTEME AUTOMATE NELINIARE</b>	<b>123</b>
8.1. Metoda spațiului fazelor	124
8.2. Metoda liniarizării armonice	126
8.3. Tipuri de nelinearități întâlnite în practică	127
<b>9. SISTEME AUTOMATE DE REGLARE NUMERICĂ</b>	<b>132</b>
9.1. Funcția de transfer a sistemului automat de reglare numerică	134
9.2. Spectrele, transformatele și funcțiile de transfer ale semnalelor discrete	137
<b>BIBLIOGRAFIE</b>	<b>139</b>

# 1. PRELIMINARII

## 1.1. Scopul și obiectivele disciplinei

*Scopul disciplinei* „Teoria sistemelor și reglare automată” constă în formarea cunoștințelor teoretice și a deprinderilor practice de cercetare/dezvoltare a sistemelor automate și crearea capacităților de analiză și sinteză a acestora, reieșind din caracteristicile de performanță, gradul de stabilitate și indicii de calitate a sistemelor.

*Obiectivele de referință* ale disciplinei sunt următoarele:

- ✓ studierea noțiunilor de bază, a elementelor de clasificare și a principiilor de realizare a sistemelor automate;
- ✓ studiul caracteristicilor statice și dinamice ale elementelor și sistemelor automate liniare;
- ✓ însușirea aparatului matematic de descriere, analiză și sinteză a sistemelor;
- ✓ dezvoltarea capacităților de descriere a sistemelor liniare prin ecuații și sisteme de ecuații diferențiale, precum și de exprimare și rezolvare a ecuațiilor diferențiale în formă de funcție de transfer, utilizând transformata Laplace sau în formă de funcție complexă de transfer cu aplicarea transformatei Furie;
- ✓ studierea principiilor și criteriilor de stabilitate a sistemelor automate și dezvoltarea abilităților practice de analiză a stabilității, utilizând criteriile de stabilitate;
- ✓ acumularea cunoștințelor referitoare la conceptul de calitate a procesului de control al sistemului automat și dezvoltarea capacităților de analiză și ajustare a indicilor de calitate;
- ✓ însușirea algoritmului de sinteză, analiză și corecție a sistemelor automate;
- ✓ studierea principiilor de funcționare și a caracteristicilor de performanță a sistemelor automate neliniare și a sistemelor cu acțiuni discontinue;
- ✓ depistarea și dezvoltarea intereselor cognitive și intențiilor profesionale prin activitatea practică.

Disciplina „Teoria sistemelor și reglare automată” prevede următoarele *finalități*:

- ✓ cunoștințe profunde ale principiilor și metodelor de control a sistemelor automate;
- ✓ abilități practice de dezvoltare a modelelor matematice ale elementelor și sistemelor de reglare automată;
- ✓ capacități de sinteză și analiză a sistemelor de comandă și reglare automată;
- ✓ capabilități de determinare și ajustare a gradului de stabilitate și a indicilor de calitate a sistemelor automate;
- ✓ cunoștințe trainice ale principiilor de funcționare și ale caracteristicilor de performanță a sistemelor automate neliniare și a sistemelor cu acțiune discontinuă;
- ✓ capacități de lucru în echipă, de planificare și desfășurare a studiilor de caz și de aplicare în practică a principiilor și metodologiei de sinteză și analiză a sistemelor automate.

Această disciplină se bazează pe cunoștințele acumulate la studierea cursurilor de matematică, fizică, bazele ingineriei mecanice, procese tranzitorii și teoria câmpului electromagnetic, mașini electrice și, la rândul său, stă la baza studierii disciplinelor controlere și automate programabile, automatizarea proceselor tehnologice, acționări electrice, acționări hidraulice și pneumatice, modelarea sistemelor electromecanice, controlul sistemelor electromecanice ș.a.

## BIBLIOGRAFIE

1. 28 definiții pentru sistem. <https://www.dex.md/definitie/sistem>
2. Dezvoltare durabilă. <http://femeilepot.ro/dezvoltare-durabila/>
3. A. Tarlajanu. Managementul calității. Ciclul de prelegeri. Chișinău: Editura „Tehnica-UTM”, 2015.
4. A. Tarlajanu. Teoria sistemelor și reglare automată. Îndrumar de laborator. Chișinău: Editura „Tehnica-UTM”, 2016.
5. Inovații tehnice în secolul al XVIII-lea. <http://repository.utm.md/bitstream/handle/5014/3797/>
6. Motor cu aburi. [https://ro.wikipedia.org/wiki/Motor\\_cu\\_abur](https://ro.wikipedia.org/wiki/Motor_cu_abur)
7. Motorul cu abur - evoluție și semnificație. <https://www.scientia.ro/stiinta-la-minut/istoria-ideilor-si-descoperirilor-stiintifice/6783-motorul-cu-abur-evolutie>
8. Dan G. Stoichițoiu ș.a. Istoria calității. București: Editura Mediarex 21, 2002.
9. Clasificarea sistemelor de reglare automată. <https://www.rasfoiesc.com/inginerie/electronica/CLASIFICAREA-SISTEMELOR-DE-REG93.php>
10. Классификация систем автоматического регулирования. [https://m.studme.org/293422/tehnika/klassifikatsiya\\_sistem\\_avtomaticheskogo\\_regulirovaniya](https://m.studme.org/293422/tehnika/klassifikatsiya_sistem_avtomaticheskogo_regulirovaniya)
11. Teoria sistemelor. [https://profs.info.uaic.ro/~fliacob/An2/2016-2017/Modelare%20matematica\\_resurse/Teoria%20sistemelor.pdf](https://profs.info.uaic.ro/~fliacob/An2/2016-2017/Modelare%20matematica_resurse/Teoria%20sistemelor.pdf)
12. Introducere în automatică. [http://mvoicu.intr-automatica.ac.tuiasi.ro/Cursul\\_01.pdf](http://mvoicu.intr-automatica.ac.tuiasi.ro/Cursul_01.pdf)
13. Concepte de bază ale analizei sistemelor. <http://www.asecib.ase.ro/Paun/cap2-ads-intern.PDF>
14. Clasificarea sistemelor automate de reglare. <https://guzungheorghe.wordpress.com/category/3-clasificarea-sistemelor-automate-de-reglare/>
15. Cercetări privind comportarea mașinilor electrice în diverse domenii actuale de utilizare. Teză de abilitare. Prof. dr. ing. ec. Ion Piroi, Universitatea „Eftimie Murgu” din Reșița, Facultatea de



Inginerie și Management, București, 2016.  
[https://www.utcluj.ro/media/page\\_document/204/Ion\\_PIROI -  
Teza de abilitare.pdf](https://www.utcluj.ro/media/page_document/204/Ion_PIROI_-_Teza_de_abilitare.pdf)

16. Ambros T.S. Mașini electrice. Vol.1. Mașini sincrone și de current continuu. Vol. 2. Chișinău: „Tehnica-UTM”, 2017.

17. Nuca Ilie. Curs acționări electrice.  
[https://biblioteca.regielive.ro/cursuri/electrotehnica/actionari-  
electrice-174191.html](https://biblioteca.regielive.ro/cursuri/electrotehnica/actionari-electrice-174191.html)

18. Gheorghe Manolea. Sisteme automate de acționare electromecanică.  
[https://gheorghe.manolea.ro/wp-  
content/uploads/2010/04/SAAE1.pdf](https://gheorghe.manolea.ro/wp-content/uploads/2010/04/SAAE1.pdf)

19. Variator de tensiune trifazat.  
[https://ru.scribd.com/presentation/226032544/Variator-de-  
Tensiune-Trifazat](https://ru.scribd.com/presentation/226032544/Variator-de-Tensiune-Trifazat)

20. Lucian Mihet-Popa. Energy conversion systems and its applications.  
[https://www.researchgate.net/publication/257515665\\_Energy\\_conv  
ersion\\_systems\\_and\\_its\\_applications](https://www.researchgate.net/publication/257515665_Energy_conversion_systems_and_its_applications)

21. A. Tarlajanu. Development of Vector Control Structures for Traction Systems with Six-Phase Asynchronous Motors. The 13<sup>th</sup> International Conference on electro-mechanical and power systems SIEMEN 2021. Iași, Romania, October 6, 2021, Chișinău, Republic of Moldova, October 7-8, 2021.

22. Trasarea caracteristicilor logaritmice de frecvență.  
[www.aie.ugal.ro/isa/Curs/Curs\\_04\\_Trasare\\_BODE.pdf](http://www.aie.ugal.ro/isa/Curs/Curs_04_Trasare_BODE.pdf)

23. Reprezentarea în frecvență a funcțiilor de transfer.  
[www.shiva.pub.ro/PDF/.../L7\\_Criterii\\_de\\_stabilitate.pdf](http://www.shiva.pub.ro/PDF/.../L7_Criterii_de_stabilitate.pdf),

24. Ю.И. Медведев. Курс лекций по теории автоматического управления.

[https://ftf.tsu.ru/wp-content/uploads/Kurs-lektsij-po-teorii-  
avtomaticheskogo-upravleniya](https://ftf.tsu.ru/wp-content/uploads/Kurs-lektsij-po-teorii-avtomaticheskogo-upravleniya)

25. Критерии устойчивости САУ. Алгебраический критерий устойчивости  
Рауса-Гурвица.  
[https://studme.org/283645/tehnika/kriterii\\_ustoychivosti](https://studme.org/283645/tehnika/kriterii_ustoychivosti)

26. Pătrășcioiu Mihail. Elemente de analiză a sistemelor automate de reglare.

<http://ac.upg-ploiesti.ro/cursuri/apich2/APCh II 1.pdf>

27. Показатели качества систем автоматического управления. <https://studfile.net/preview/5226227/page:6/>

28. Analiza în timp a elementelor unui sistem de reglare automată.

[www.shiva.pub.ro/PDF/TRA/L4\\_Analiza\\_in\\_timp\\_1.pdf](http://www.shiva.pub.ro/PDF/TRA/L4_Analiza_in_timp_1.pdf),

29. Criteriul de stabilitate al lui Nyquist. <https://ru.scribd.com/doc/93756865/Criteriul-de-Stabilitate-Al-Lui-Nyquist>

30. A. Tarlajanu. Ingineria calității și evaluarea conformității. Ciclul de prelegeri. Chișinău: Editura „Tehnica-UTM”, 2019.

31. Sinteza sistemelor de reglare automate. <https://www.rasfoiesc.com/inginerie/electronica/SINTEZA-SISTEMELOR-DE-REGLARE-82.php>

32. Tehnica reglării și control automat. Îndrumar de laborator. [http://www.euedia.tuiasi.ro/ca/ca\\_lab3.pdf](http://www.euedia.tuiasi.ro/ca/ca_lab3.pdf)

33. Sisteme automate neliniare. <https://ru.scribd.com/document/96066499/Sisteme-Automate-Neliniare-Schema-Bloc>

34. Sisteme automate neliniare. Principalele tipuri de nelinearități întâlnite în practică. <https://www.creeaza.com/tehnologie/electronica-electricitate/Sisteme-automate-neliniare447.php>

35. Discretizarea sistemelor continue. <https://suleacosti.files.wordpress.com/2017/02/platforma-2.pdf>

36. Sisteme de reglare numerică. <https://www.scrigroup.com/calculatoare/Sistemele-de-reglare-numeric91514.php>