



Ministerul Educației și Cercetării al Republicii Moldova
I.P. Centrul de Excelență în Energetică și Electronică

„Aprob”

Mariana BARLADEAN

Directoare I.P. Centrul de Excelență în Energetică și
Electronică

"23" septembrie 2023



Curriculum la modulul

S.08.O.023 Sisteme de reglare automată

Specialitatea: **71420 – Automatizarea proceselor tehnologice**

Calificarea: **311927 – Tehnician/tehniciană în automatizarea
proceselor de producție**

Curriculumul a fost elaborat în cadrul Proiectului „Consolidarea sistemului de învățământ profesional tehnic din Republica Moldova” (CONSEPT 5), cu sprijinul financiar al Fundației Liechtenstein Development Service (LED).



CONSEPT



Aprobat la:

Consiliul metodic științific al I.P. Centrul de Excelență în Energetică și Electronică din 23 septembrie 2023, director adjunct pentru instruire, Virgil BANTAȘ _____

Ședința Catedrei „Automatizări” a I.P. Centrul de Excelență în Energetică și Electronică din 5 septembrie 2023, șef de catedră, Veaceslav CEAUȘ _____

Autori:

- 1) Veaceslav CEAUȘ, profesor discipline de specialitate, grad didactic superior, șef Catedra de automatizări, I.P. Centrul de Excelență în Energetică și Electronică
- 2) Virgil BANTAȘ, profesor discipline de specialitate, grad didactic superior, director adjunct pentru instruire, I.P. Centrul de Excelență în Energetică și Electronică
- 3) Iurie ȚĂRĂLUNGĂ, profesor discipline de specialitate, grad didactic unu, I.P. Centrul de Excelență în Energetică și Electronică
- 4) Serghei TINCOVAN, profesor discipline de specialitate, I.P. Centrul de Excelență în Energetică și Electronică
- 5) Veaceslav TOFĂNICĂ, profesor discipline de specialitate, I.P. Centrul de Excelență în Energetică și Electronică

Coordonatori de proces:

- 1) Mariana BARLADEAN, directoare I.P. C.E.E.E., grad managerial doi, grad didactic superior
- 2) Aurelia VARTIC, manager proiect CONSEPT, Asociația Obștească „Educație pentru Dezvoltare”

Recenzenți:

- 1) Sergiu Gaugaș, director tehnic, Asociația „RENAM”
- 2) Denis Țapotei, metrolog-șef aparate, control, măsurări și automatizări, Fabrica SA „Bucuria”

Redactor:

Lilia TOMA

Adresa Curriculumului în Internet:

<https://ceee.md/programe-de-formare-profesionala/>

Cuprins

I. Preliminarii	Ошибка! Закладка не определена.
II. Motivația, utilitatea modulului pentru dezvoltarea profesională	Ошибка! Закладка не определена.
III. Finalități de învățare specifice modulului	Ошибка! Закладка не определена.
IV. Administrarea modulului.....	5
V. Unitățile de învățare	6
VI. Repartizarea orientativă a orelor pe unități de învățare	8
VII. Studiu individual ghidat de profesor	8
VIII. Lucrările practice recomandate	10
IX. Sugestii metodologice	Ошибка! Закладка не определена.
X. Sugestii de evaluare a rezultatelor învățării	Ошибка! Закладка не определена.
XI. Resursele necesare pentru desfășurarea procesului de studii	12
XII. Resursele didactice recomandate elevilor.....	Ошибка! Закладка не определена.

I. Preliminarii

Curriculumul la modulul *Sisteme de reglare automată* este elaborat în baza *Standardului de calificare Tehnician/tehniciană în automatizarea proceselor de producție*, aprobat de Ministerul Educației și Cercetării al Republicii Moldova prin Ordinul nr. 1312/2023, precum și a Planului de învățământ aprobat prin Ordinul MEC nr. 1766/2023. Modulul *Sisteme de reglare automată* este un element formativ al pachetului curricular pentru calificările din domeniul de formare profesională *Electronică și automată* și face parte din componenta de specialitate a planului de învățământ la specialitatea 71420 *Automatizarea proceselor tehnologice*.

Scopul modulului *Sisteme de reglare automată* este de a forma la elevi cunoștințe și abilități de analiză, identificare și modelare a sistemelor semiautomate și automate, aplicate în diverse ramuri ale industriei autohtone. Totodată, elevii se vor familiariza cu modelele matematice, funcțiile de transfer, caracteristicile temporale și frecvențiale, criteriile de stabilitate ale sistemului automat sub aspect analitic.

Studierea acestui modul se bazează pe cunoștințele și abilitățile acumulate în cadrul următoarelor unități de curs:

- F.01.O.010 Materiale și componente pasive;
- F.02.O.011 Electrotehnică;
- F.03.O.012 Măsurări electrice și electronice;
- F.04.O.013 Dispozitive electronice și microelectronice;
- F.05.O.014 Mașini electrice și acționări;
- F.06.O.015 Analiza și sinteza circuitelor numerice;
- F.07.O.016 Circuite integrate analogice și digitale;
- S.05.O.018 Electronică analogică;
- S.06.O.019 Tehnica impulsurilor;
- S.07.O.020 Elemente și echipamente în automatizări.

II. Motivația, utilitatea modulului pentru dezvoltarea profesională

Pentru implementarea sistemelor semiautomate și automate de reglare și control în cadrul proceselor tehnologice este nevoie de utilizarea adecvată a tuturor elementelor componente din sistemul automatizat elaborat, în special a senzorilor și traductoarelor de măsurare. În acest context, deținerea competențelor de aplicare a metodelor de analiză a sistemelor automate este de o importanță majoră în procesul de elaborare și implementare a acestor sisteme.

Astfel, unitatea de curs *Sisteme de reglare automată* va contribui la dezvoltarea competențelor profesionale de elaborare și implementare a sistemelor de control automatizate, de supervizare și mentenanță a utilajelor tehnologice utilizate în procesele de producere industriale, de identificare și utilizare a resurselor tehnice existente pentru sporirea calității și eficienței sistemului automatizat implementat.

Cunoașterea acestor aspecte de evaluare a rezultatelor unui sistem automat va contribui la funcționarea sigură, va spori gradul de fiabilitate și eficiența procesului tehnologic.

Modulul *Sisteme de reglare automată* creează condiții pentru desfășurarea următoarelor stagii de practică:

P.08.O.052 Practica ce anticipează probele de absolvire (nr. 1);

P.08.O.052 Practica ce anticipează probele de absolvire (nr. 2).

III. Competențele profesionale specifice modulului

Modulul *Sisteme de reglare automată* va contribui la formarea rezultatelor învățării descrise în *Standardul de calificare Tehnician/tehniciană în automatizarea proceselor de producție*, care, la rândul lor, vor asigura formarea competențelor profesionale specificate în standardul ocupațional:

Rezultate ale învățării (RÎ) din standardul de calificare	Competențe profesionale (CP) din standardul ocupațional
RÎ8. Absolventul poate soluționa probleme tehnice ale obiectului/sistemului prin testări și autotestări repetate, utilizând diferite metode de verificare.	CP 9. Soluționarea problemelor tehnice
RÎ10. Absolventul poate propune idei/recomandări de modernizare a obiectelor/sistemelor de automatizare din dotare pentru eficientizarea procesului de producție.	CP 11. Contribuirea la modernizarea tehnologică

Pentru a atinge rezultatele învățării nr. 8 și 10 din *Standardul de calificare Tehnician/tehniciană în automatizarea proceselor de producție*, după studierea modulului *Sisteme de reglare automată* elevul va fi capabil:

1. să identifice tipurile de sisteme de reglare automată;
2. să aplice modele matematice la rezolvarea schemelor sistemelor dinamice liniare;
3. să aplice ecuații diferențiale la analiza proprietăților de transfer ale sistemelor dinamice liniare;
4. să analizeze criteriile de stabilitate ale sistemelor automate;
5. să analizeze regulatoarele sistemelor automate;
6. să demonstreze metode de îmbunătățire a calității procesului de reglare;
7. să identifice sisteme avansate de reglare automată.

IV. Administrarea modulului

Semestrul	Numărul de ore				Forma de evaluare	Numărul de credite	
	Total	Contact direct					Studiu individual
		Teorie	Practică	Laborator			
VIII	90	52	-	8	30	examen	3

V. Unitățile de învățare

Rezultate ale învățării	Unități de conținut	Abilități
1. Sisteme de reglare automată		
RÎ1. Identificarea tipurilor de sisteme de reglare automată	1.1. Noțiuni de sisteme închise de reglare automată 1.2. Clasificări ale sistemelor automate în funcție de caracterul proceselor dinamice interne 1.3. Sisteme automate continue 1.4. Sisteme automate discrete și cu relee	1. Caracterizarea sistemelor închise de reglare automată 2. Clasificarea sistemelor automate în funcție de caracterul proceselor dinamice interne 3. Prezentarea exemplurilor de sisteme automate continue 4. Caracterizarea sistemelor automate discrete 5. Descrierea sistemelor automate cu relee
2. Sisteme dinamice liniare continue de reglare automată		
RÎ2. Aplicarea modelelor matematice la rezolvarea schemelor sistemelor dinamice liniare	2.1. Modele matematice ale sistemelor dinamice liniare 2.2. Scheme de structură ale sistemelor dinamice liniare 2.3. Scheme bloc operaționale asociate unei funcții de transfer: - schema bazată pe derivatoare și integratoare - schema bazată numai pe integratoare 2.4. Răspunsul sistemelor dinamice liniare la impulsul Dirac: definiție, proprietăți, produsul de convoluție 2.5. Răspunsul indicial: definiție, proprietăți, integrala Duhamel	1. Deducerea modelelor matematice ale sistemelor dinamice liniare 2. Demonstrarea schemelor bloc structurale ale sistemelor dinamice liniare 3. Descrierea schemei bloc operaționale bazate pe derivatoare și integratoare 4. Explicarea schemei bloc operaționale bazate numai pe integratoare 5. Caracterizarea răspunsului sistemelor dinamice liniare la impulsul Dirac 6. Caracterizarea răspunsului indicial al sistemelor dinamice liniare
3. Transferul intrare-ieșire al sistemelor dinamice liniare		

RÎ3. Aplicarea ecuațiilor diferențiale la analiza proprietăților de transfer ale sistemelor liniare	3.1. Generalități cu privire la utilizarea ecuațiilor diferențiale 3.2. Metode de rezolvare a ecuațiilor diferențiale inițiale 3.3. Metode de transformare a ecuațiilor neuniforme în uniforme 3.4. Aplicații ale transformatelor Fourier, Laplace, Carson-Heaviside	1. Explicarea scopului utilizării ecuațiilor diferențiale la cercetarea transferului intrare-ieșire al sistemelor dinamice liniare 2. Rezolvarea ecuațiilor diferențiale inițiale 3. Aplicarea metodelor de transformare a ecuațiilor neuniforme în uniforme 4. Explicarea modurilor de utilizare a transformatelor Fourier, Laplace, Carson-Heaviside
4. Stabilitatea sistemelor automate		
RÎ4. Analizarea criteriilor de stabilitate ale sistemelor automate	1.1. Principiul argumentului: - integrala pe contur a derivatei logaritmice - variația totală a argumentului 1.2. Criteriul de stabilitate Nyquist 1.3. Criteriul de stabilitate Hurwitz 1.4. Criteriul de stabilitate Liapunov (sisteme neliniare)	1. Descrierea principiului argumentului 2. Explicarea condițiilor de stabilitate ale sistemelor automate 3. Enumerarea criteriilor de stabilitate ale sistemelor automate 4. Explicarea criteriului de stabilitate Nyquist 5. Explicarea criteriului de stabilitate Hurwitz 6. Explicarea criteriului de stabilitate Liapunov
5. Regulatele ale sistemelor automate		
RÎ5. Analizarea reguletoarelor sistemelor automate	5.1. Regulate realizate cu amplificatoare operaționale 5.2. Caracteristici ale reguletoarelor din categoria PID 5.3. Proprietăți ale sistemelor automate cu regulate P, PD, PI și PID	1. Explicarea principiului de lucru al reguletoarelor realizate cu amplificatoare operaționale 2. Analizarea caracteristicilor reguletoarelor din categoria PID 3. Compararea sistemelor automate cu regulate P, PD, PI și PID
6. Mijloace și metode de îmbunătățire a calității procesului de reglare		
RÎ6. Demonstrarea metodelor de îmbunătățire a calității	6.1. Circuite de corecție serie 6.2. Circuite de corecție paralele 6.3. Metode de ridicare a rezervei de stabilitate	1. Demonstrarea metodelor de îmbunătățire a calității procesului de reglare prin introducerea circuitelor de corecție serie

procesului de reglare		2. Demonstrarea metodelor de îmbunătățire a calității procesului de reglare prin introducerea circuitelor de corecție paralele 3. Demonstrarea metodelor de îmbunătățire a rezervei de stabilitate
7. Sisteme avansate de reglare automată		
RÎ7. Identificarea sistemelor avansate de reglare automată	7.1. Sisteme de reglare automată predictivă 7.2. Sisteme de reglare automată cu model intern 7.3. Sisteme de reglare Fuzzy	1. Prezentarea exemplelor de sisteme de reglare automată predictivă 2. Descrierea unui sistem de reglare automată cu model intern 3. Descrierea domeniilor de utilizare a sistemelor de reglare automată Fuzzy

VI. Repartizarea orientativă a orelor pe unități de învățare

Nr. crt.	Unități de învățare	Numărul de ore				
		Total	Contact direct			Studiu individual
			Teorie	Practică	Laborator	
1.	Sisteme de reglare automată	16	8	-	-	8
2	Sisteme dinamice liniare continue de reglare automată	14	10		2	2
3.	Transferul intrare-ieșire al sistemelor dinamice liniare	16	8	-	2	6
4.	Stabilitatea sistemelor automate	14	8	-	2	4
5.	Regulatoare ale sistemelor automate	14	6	-	2	6
6.	Mijloace și metode de îmbunătățire a calității procesului de reglare	8	6	-	-	2
7.	Sisteme avansate de reglare automată	8	6	-	-	2
	Total	90	52	-	8	30

VII. Studiu individual ghidat de profesor

Materii pentru studiul individual	Produse de elaborat	Modalități de evaluare	Numărul de ore
-----------------------------------	---------------------	------------------------	----------------

1. Sisteme de reglare automată			
1.1. Noțiuni de sisteme deschise de reglare automată	Referat	Prezentarea referatului	2 ore
1.2. Sisteme de reglare automată după cauză	Referat	Prezentarea referatului	2 ore
1.3. Sisteme de reglare automată după efect	Referat	Prezentarea referatului	2 ore
1.4. Sisteme de reglare automată din structura unui computer	Prezentare	Derularea prezentării	2 ore
2. Sisteme dinamice liniare continue de reglare automată			
2.1. Funcția de transfer în frecvență și caracteristicile de frecvență ale lanțului dinamic din componența SRA	Calculare ale funcției de transfer în frecvență	Prezentarea rezultatelor calculelor	2 ore
3. Transferul intrare-ieșire al sistemelor dinamice liniare			
3.1. Transfigurarea schemelor bloc structurale	Scheme	Prezentarea schemelor	2 ore
3.2. Scheme bloc operaționale asociate unei funcții de transfer	Scheme	Prezentarea schemelor	2 ore
3.3. Elemente de transfer tipice: elementul proporțional (P), elementul de întârziere de ordinul 1, elementul de întârziere de ordinul 2	Referat	Prezentarea referatului	2 ore
4. Stabilitatea sistemelor automate			
4.1. Caracterizări ale BIBO-stabilității (BIBO: <i>bounded input/bounded output</i> ; intrare mărginită/ieșire mărginită)	Referat	Prezentarea referatului	2 ore
4.2. Criteriul de stabilitate Routh și stabilitatea relativă	Calculare ale criteriului de stabilitate Routh	Prezentarea rezultatelor calculelor	2 ore
5. Reglatoare ale sistemelor automate			
5.1. Sistem automat cu regulator PD (parametric diferențial)	Studiu de caz	Prezentarea studiului	2 ore
5.2. Sistem automat cu regulator PID (parametric integrator diferențial).	Studiu de caz	Prezentarea studiului	2 ore

5.3. Rolul și locul regulatorului automat într-un SRA (sistem de reglare automată). Clasificări	Prezentare PPP	Derularea prezentării	2 ore
6. Mijloace și metode de îmbunătățire a calității procesului de reglare			
6.1. Rolul reacțiilor la îmbunătățirea calității procesului de reglare	Referat	Prezentarea referatului	2 ore
7. Sisteme avansate de reglare automată			
7.1. Sisteme de reglare automată în baza RNA (rețele neuronale artificiale)	Prezentare	Derularea prezentării	2. ore

VIII. Lucrările practice și de laborator recomandate

Unități de învățare	Denumirea lucrărilor de laborator	Număr de ore
1. Sisteme dinamice liniare continue de reglare automată	Ridicarea experimentală a răspunsului indical al unui circuit RC	2
2. Transferul intrare-ieșire al sistemelor dinamice liniare	Ridicarea experimentală a răspunsului ponderat al elementelor de sistem automat	2
3. Stabilitatea sistemelor automate	Ridicarea experimentală a caracteristicilor de frecvență al unui element de sistem automat	2
4. Reglatoare ale sistemelor automate	Aplicarea metodelor de ajustare a reglatoarelor de tip PID	2
Total ore		8

IX. Sugestii metodologice

Pentru facilitarea procesului de asimilare de către elevi a cunoștințelor faptice și pentru dezvoltarea abilităților practice, în activitățile de predare-învățare în cadrul modului *Sisteme de reglare automată* se recomandă aplicarea eficientă a diverse strategii didactice, utilizând metode de explorare și acțiune, raportarea sarcinilor de învățare la situații reale, asemănătoare celor din mediul de executare a atribuțiilor de serviciu.

În vederea atingerii rezultatelor învățării, se recomandă desfășurarea lecțiilor practice și de laborator axate pe dezvoltarea abilităților de modelare și simulare a elementelor funcționale tipice ale sistemelor automate, de elaborare a schemei de structură a sistemului automat, de acordare a reglatoarelor de tip PID și de apreciere a rezultatelor obținute.

Organizarea procesului didactic centrat pe elev, având în vedere adaptarea demersului educațional la particularitățile personale ale elevului, se va realiza prin sarcini propuse pentru studiul individual ghidat de profesor, de tipul: studiu de caz, instruire asistată de calculator, vizite de studiu etc.

Dirijarea procesului de formare a rezultatelor învățării specifice unității de curs se va face într-un mod dinamic și flexibil, bazat pe feedback. Flexibilitatea procesului de învățământ va fi asigurată de aplicarea a diverse metode și mijloace de instruire tradiționale și moderne, ceea ce va permite individualizarea activității elevilor. Cadrul didactic este în drept să aleagă calea parcursului didactic, oferind elevilor posibilități reale de a fi responsabili de rezultatele învățării.

X. Sugestii de evaluare a rezultatelor învățării

Evaluarea nivelului de atingere a rezultatelor învățării specifice unității de curs *Sisteme de reglare automată* se va face conform noilor direcții de dezvoltare a evaluării în pedagogia modernă, care reclamă transferul de la evaluarea axată pe inițiativa profesorului de a controla la evaluarea centrată pe învățare, adică pe inițiativa elevului de a reflecta asupra propriului proces de cunoaștere, învățând din greșeli. Strategiile de evaluare centrate pe învățare și formare se regăsesc în categoria strategiilor de evaluare interactivă, care presupune existența unui parteneriat între profesor și elev, care are la bază procese de colaborare și care vizează responsabilizarea elevului în cadrul proceselor de învățare și evaluare.

Astfel, activitățile de evaluare vor fi orientate spre motivarea elevilor prin oferirea unui feedback continuu, fapt ce va permite corectarea operativă a procesului de învățare, precum și prin evidențierea succeselor la fiecare etapă de învățare.

Metode de *evaluare formativă* recomandate sunt:

- observarea sistematică a comportamentului elevilor, care permite evaluarea înțelegerii conceptelor, a capacităților, dar și a atitudinilor față de o sarcină dată;
- autoevaluarea, prin care elevul compară nivelul la care a ajuns cu obiectivele și standardele educaționale și, respectiv, poate să-și îmbunătățească procesul de învățare;
- evaluarea reciprocă, metodă care contribuie la responsabilizarea, conștientizarea, implicarea elevilor în evaluare, la socializarea grupului de elevi, la coparticiparea acestora la formarea semenilor, precum și la consolidarea convingerilor proprii.
- metoda lucrărilor de laborator, prin care se evaluează cunoștințele însușite la lecțiile de teorie, dar și abilitățile de utilizare corespunzătoare a bibliografiei, a materialelor și a instrumentelor.

Pentru a eficientiza procesele de evaluare, înainte de a începe evaluările, cadrul didactic va aduce la cunoștința elevilor tematica lucrărilor, modul de evaluare (bareme/grile/criterii de notare) și condițiile de efectuare a fiecărei evaluări.

Evaluarea sumativă va fi realizată la finele modulului sub formă de examen scris. La elaborarea instrumentelor de evaluare, profesorul va ține cont de scopul evaluării sumative: se măsoară rezultatele învățării și nu procesului de învățare.

Produsele recomandate pentru evaluarea rezultatelor învățării, în baza situațiilor-problemă de la viitoarele locuri de muncă, sunt:

- scheme de structură;
- scheme funcționale;

- calcule ale funcției de transfer;
- calcule ale criteriilor de stabilitate;
- diagrame/grafice ale sistemelor de reglare automată.

Criteriile de evaluare a produselor vor include:

- corespunderea produselor cu cerințele tehnice;
- corectitudinea selectării materialelor;
- documentarea în vederea găsirii informațiilor necesare pentru efectuarea calculelor;
- stabilirea strategiei rezolutive;
- prezentarea și interpretarea rezultatelor;
- corectitudinea calculelor;
- setarea datelor sursă în baza cărora este trasată diagrama;
- formatarea corectă a elementelor diagramei;
- completitudinea datelor în baza cărora este construit graficul.

Pentru a fi admis la examen, elevul:

- va prezenta portofoliul completat cu produsele studiului individual, prin care se evaluează experiența de învățare individuală a elevului;
- va efectua toate lucrările de laborator, prin care se evaluează cunoștințele dobândite la lecțiile teoretice și abilitățile de apreciere a stabilității sistemului de reglare automată.

XI. Resursele necesare pentru desfășurarea procesului de studii

Cerințe față de sălile de curs	
Pentru orele teoretice	Sală de curs dotată cu calculatoare
Pentru orele de laborator	Laborator dotat cu standuri de lucru
Cerințe tehnice	
Standuri	Standuri funcționale compuse din circuite de curent continuu (5 bucăți) Standuri funcționale compuse din circuite de curent alternativ (5 bucăți)
Parametrii tehnici minimi ale calculatorului	Procesor: 2 GHz Memorie operativă: 4 GB Unitate de stocare: 500 GB Afișaj și grafică: size: 22", resolution: 1366 x 768 Network: Ethernet, 100 Mbps
Aparate de măsură	Multimetre – 1/5 elevi
	Osciloscoape electronice – 1/5 elevi
	Generatoare de măsură de impulsuri – 1/5 elevi

XII. Resursele didactice recomandate elevilor

Nr. crt.	Denumirea resursei	Locul în care poate fi consultată, accesată, procurată resursa	Numărul de exemplare disponibile
1.	Călin, S., <i>Echipamente electronice pentru automatizări: Manual, cl. a XI-a, licee industriale</i> , Leova, 1992.	Biblioteca/Sala de lectură	498
2.	Călin, S., <i>Echipamente electronice pentru automatizări: Manual pentru cl. a XII-a, licee industriale și de matematică-fizică cu profiluri de electrotehnică și matematică-electrotehnică</i> , Cimișlia, 1993.	Biblioteca/Sala de lectură	200
3.	Robe, M. ș.a. <i>Electronică și automatizări: Manual pentru cultura de specialitate, cl. a IX-a, școala de arte și meserii</i> , București, 2005.	Biblioteca/Sala de lectură	18
4.	Teodorescu, D., <i>Sisteme automate deterministe. Principii și instrumente de sinteză</i> , București, 1984.	Biblioteca/Sala de lectură	352
5.	Șerban, S., Serbu, T., <i>Teoria sistemelor. Analiza sistemelor liniare în prezența semnalelor externe nedeterminate</i> , București.	Biblioteca/Sala de lectură	106
6.	Voicu, M., <i>Introducere în automatică</i> , Iași, 2002.	Biblioteca/Sala de lectură	266
7.	Гинзбург, С. А., <i>Основы автоматики и телемеханики</i> , М., 1968.	Biblioteca/Sala de lectură	512
8.	Departamentul Automatică și Informatică Industrială. Facultatea Automatică și Calculatoare. Universitatea POLITEHNICA din București, <i>Bazele reglării automate</i> . 2020.	Internet	