



A XVII-a Conferință internațională – multidisciplinară
„Profesorul Dorin Pavel – fondatorul hidroenergeticii românești”
SEBEȘ, 2017

ANALIZA UNOR SISTEME CLASICE DE TELEMĂSURARE A NIVELULUI LICHIDELOR. SISTEME CU IMPULSURI DE C.C. ȘI CU LOGOMETRU DE NIVEL Partea I-a

Iosif POPA, Gabriel Nicolae POPA,
Corina Maria DINIȘ, Carmen MOTORGA

ANALYSIS ON CLASSIC TELEMETRY SYSTEMS USED FOR LIQUID LEVEL. D.C. PULSES SYSTEMS AND LEVEL LOGOMETER – Part I

The paper presents an analysis of four classic telemetry systems for level measurement, i.e.: for three such systems with floating and counterweight, such as those with D.C. pulses, with potentiometer and a D.C. voltmeter, and two identical selsins, one transmitter and one receiver, and a resistive transducer system and logo meter level indicator, which is only used for liquids that have low resistivity. At the last system, it was made a study about linearized conversion, for liquid level in the angular displacement of the indicator.

Keywords: float level sensor, transducer resistive level gauge logometru, synchro

Cuvinte cheie: traductor de nivel cu plutitor, traductor rezistiv de nivel, logometru indicator de nivel, selsin

1. Introducere

Nivelul lichidelor poate fi măsurat prin mai multe metode, folosind diferite tipuri de traductoare. O instalație care este printre primele

sisteme de transmitere la distanță a datelor, are ca element sensibil un plutitor care antrenează o roată dințată în legătură cu un comutator mecanic cu ajutorul căruia se transmit, prin linie, la distanță, impulsuri de c.c. pozitive, când nivelul crește, și negative, la scăderea nivelului, numărul de impulsuri pozitive sau negative fiind direct proporțional cu valoarea nivelului, când acesta crește sau scade. Aceste impulsuri, la distanță, sunt numărate și afișate cu un sistem electromecanic [1, 2].

O altă instalație de telemăsurare a nivelului lichidelor care trebuie să fie bune conducătoare de electricitate, are ca element sensibil un traductor format din mai multe trepte de rezistențe capsulate legate în serie prin plăcuțe din alamă nichelate sau din oțel inoxidabil, care sunt scurtcircuitate la creșterea nivelului, valoarea rezistenței echivalente rămasă în aer fiind indicată cu un aparat de tip logometru [2, 3], specific ohmmetrelor clasice, etalonat în unități de nivel.

Cel mai simplu sistem de telemăsurare a nivelului are elementul sensibil un plutitor care printr-un reductor acționează cursorul unui potențiomtru circular [2, 4, 5, 6]. La ieșirea potențiometrului, dacă acesta este alimentat în c.c. de la o sursă de tensiune stabilizată, se obține o tensiune direct proporțională cu nivelul lichidului care este măsurată la distanță cu un voltmetru etalonat în metri. Axul cursorului poate acționa și un comando-aparat prevăzut cu came profilate corespunzător care comandă microîntreruptoare când nivelul atinge diferite valori (*NI* – nivel inferior, *NS* – nivel superior, *NA* – nivel de avarie etc.).

Un alt sistem clasic de telemăsurare a nivelului lichidelor este cel cu plutitor și o pereche de selsine¹ [2, 7], alimentate în c.a. cu tensiune redusă de frecvență industrială. Un selsin, cel emițător, este antrenat direct de la o roată stelată acționată cu plutitor și contragreutate, iar al doilea, cel receptor antrenează, printr-un reductor, acul indicator.

De precizat este faptul că în prezent există o diversitate mare de sisteme de telemăsurare a nivelului lichidelor, și anume: cu elemente sensibile traductoare rezistive, inductive, capacitive, de presiune hidrostatică, de tip radar, etc., care în general sunt prevăzute cu convertoare în frecvență a semnalelor primite de la traductoare, aparatele indicatoare, în aceste cazuri fiind frecvențmetre analogice sau numerice etalonate în unități de nivel.

¹ SELSÍN (< fr.; {s} engl. sel[f] „auto” + fr. syn[chronizer] „a sincroniza”) s. n. Micromașină electrică folosită ca traducător pentru transmiterea la distanță (la un s. receptor) a deplasărilor unghiulare ale unor organe de mașină, în așa fel încât o astfel de mașină să fie cuplată la organul respectiv și la cele indicatoare; legătura dintre cele două s. se realizează electric sau prin unde electromagnetice. Sursa: DE (1993-2009)

2. Telemăsurarea nivelului lichidelor folosind un sistem cu impulsuri de tensiune continuă

Sistemul cu impulsuri de tensiune continuă, pentru telemăsurarea nivelului lichidelor (figura 1) este o instalație clasică de transmitere la distanță a informației referitoare la valoarea nivelului lichidelor [1].

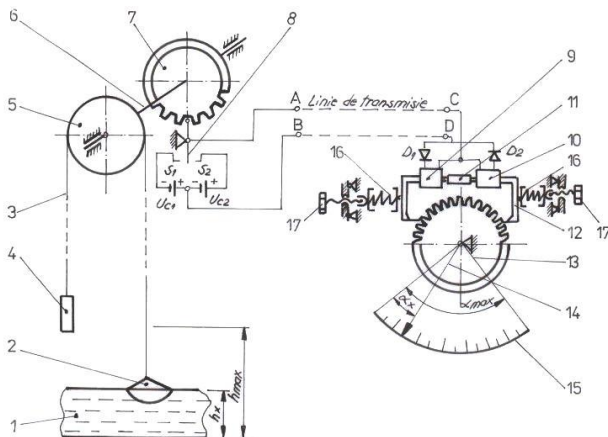


Fig. 1. Sistem cu impulsuri de tensiune continuă folosit la telemăsurarea nivelului lichidelor

Plutitorul 2 al sistemului de telemăsurare, urmărește nivelul h_x ($0 \leq h_x \leq h_{max}$) la un moment dat al lichidului. La creșterea

nivelului, plutitorul 2 cu masa m_p se deplasează în sus. Lanțul 3 antrenează roata stelată 5 care este rotită spre stânga, deoarece masa m_{cg} a contragreutății 5 este mai mare decât masa echivalentă aparentă a plutitorului m_{epu} la urcare ($m_{epu} = m_p - m_{adu}$; m_{adu} este masa apei dislocuite). Are loc prima conversie în cadrul sistemului și anume: creșterea nivelului care este o deplasare liniară a plutitorului, este convertită într-o deplasare unghiulară a roții stelate. Prin axul 6 deplasarea unghiulară este transmisă roții stelate 7 care acționează contactul mobil 8, comun contactelor normale deschise (c.n.d.) S_1 și S_2 . Se închide c.n.d. S_1 și este activată sursa de tensiune continuă U_{C1} ($U_{C1} = U_{C2}$). Apare un impuls de tensiune continuă cu polaritatea - pe borna A și + pe borna B a liniei de transmisie. Conduce dioda D_1 și se alimentează cu tensiune bobina 9, este atrasă armătura mobilă M, care deplasează liniar, spre stânga, ancora 12. Aceasta este în contact cu roata dințată 13 care execută o deplasare unghiulară α_p , corespunzător pasului de danturare. Tot cu α_p este deplasat spre dreapta și acul indicator 14, care se mișcă în dreptul scalei 15 gradată în unități de nivel. Menținerea în poziție mijlocie a armăturii mobile 11 este realizată cu arcurile solenoidale 16 tensionate cu șuruburile 17.

Se observă că pentru indicarea nivelului lichidului 1 au loc o serie de conversii succesive și anume: nivelul sau deplasarea liniară a plutitorului, în deplasarea unghiulară a elementelor 5, 6, 7, 8, deplasarea unghiulară, în impulsuri de tensiune continuă transmise prin linia B-D, A-C, impulsurile de tensiune în deplasare liniară a miezului 11 și ancorei 12 și, în final, deplasarea liniară a ancorei, în deplasare unghiulară a roții dințate 13 și a acului indicator 14.

La scăderea nivelului apei, masa echivalentă a plutitorului m_{apc} (m_{apc} – masa echivalentă a plutitorului la coborâre: $m_{apc} > m_{apu}$) este mai mare decât masa contragreutății, roata stelată 5 împreună cu axul 6 și roata dințată 7 sunt rotite invers situației precedente, este acționat contactul S_2 care activează sursa de tensiune continuă U_{C2} , se schimbă polaritatea tensiunii de la bornele A-B ale liniei de transmisie (polaritatea este + pe borna A și – pe borna B), conduce dioda D_2 , este alimentată cu tensiune bobina 10, ancora 12 este deplasată liniar spre dreapta și acul indicator 14 este rotit spre stânga. Sistemul de telemăsurare a nivelului, cu impulsuri de tensiune continuă, este realizat în așa fel încât, atunci când plutitorul parcurge distanța h_{max} și acul indicator să execute deplasarea unghiulară α_{max} . În scopul măsurării valorilor mari de nivel se impune folosirea unui reductor corespunzător între roata dințată 13 și axul acului indicator.

Un dezavantaj al acestei instalații electromecanice de telemăsurare a nivelului lichidelor este acela că la defectarea părții electrice (bateriile U_{C1} sau U_{C2} consumate, linie de transmisie întreruptă, etc.), după remedierea defectului, se impune reglarea dispozitivului de indicare. Aceasta se face fie când nivelul este minim, fie când nivelul are valoare maximă. De remarcat este faptul că acest sistem de telemăsurare face parte din primele sisteme de control de la distanță a unor parametri tehnologici, care utilizează impulsuri de tensiune continuă.

3. Telemăsurarea nivelului lichidelor, care au rezistivitatea mică, cu logometru indicator de nivel

3.1. Determinarea relației dintre mărimea de ieșire și cea de intrare la sistemul de telemăsurare cu logometru de nivel

Pentru telemăsurarea nivelului lichidelor care au rezistivitate mică, se utilizează frecvent logometrul indicator de nivel a cărui schemă de principiu este dată în figura 2. Elementul sensibil al traductorului este format din n trepte de rezistențe egale între ele,

înseriate prin plăcuțe de oțel inoxidabil sau din alamă nichelată, care prin creșterea nivelului sunt scurtcircuitate de lichid. Așa cum se demonstrează în continuare, dependența dintre indicația α_x și nivelul h_x al lichidului nu este liniară (vezi (17)). Din acest motiv, pentru acest tip de traductor, este prezentată o metodă de liniarizare.

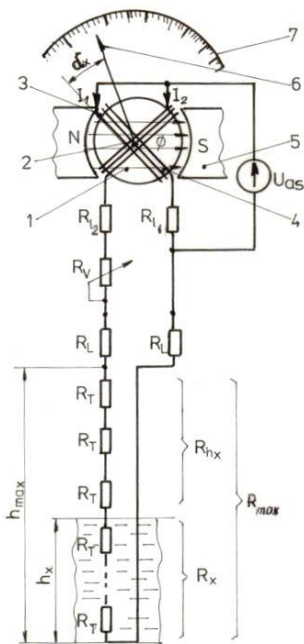


Fig. 2 Logometru pentru măsurarea nivelului lichidelor

În continuare, se determină, pentru acest sistem de telemăsurare, relația dintre deplasarea unghiulară α_x a acului indicator 6 și nivelul curent h_x : $h_x \in [0 \dots h_{max}]$.

Prin bobinele 3 și 4 ale logometrului montate pe rotorul 1, cu un decalaj geometric de $\pi/2$, circulă curenții:

$$I_1 = \frac{U_{as}}{R_1 + R_{I1}}; \quad (1)$$

$$I_2 = \frac{U_{as}}{R_2 + R_{I2} + R_V + 2 \cdot R_L + R_{hx}}. \quad (2)$$

Aici: R_1 și R_2 sunt rezistențele bobinelor 3 și 4, R_{I1} și R_{I2} , rezistențele de limitare a curenților prin cele două bobine ($R_{I1} = R_{I2} = R_I$), R_V este o rezistență variabilă montată în interiorul aparatului pentru compensarea căderii de tensiune pe linia de transmisie, $2 \cdot R_L$ – rezistența totală a liniei de legătură dintre traductor și aparatul indicator, iar R_{hx} este rezistența traductorului când nivelul are valoarea h_x . Dacă:

$$h_x = 0, R_{hx} = R_{max}, R_{max} = n \cdot R_T \quad (3)$$

unde R_T este rezistența unei trepte a traductorului rezistiv de nivel.

Pentru o anumită valoare a nivelului h_x , rezistența R_{hx} se determină cu:

$$R_{hx} = R_{max} - R_x. \quad (4)$$

Numărul de trepte n a traductorului rezistiv de nivel este proporțional cu valoarea maximă a nivelului:

$$n = k \cdot h_{max} \quad [trepte], \quad (5)$$

deci:

$$k = \frac{n}{h_{max}} \left[\frac{trepte}{m} \right]. \quad (6)$$

Rezistența din traductor scurtcircuitată de lichid este:

$$R_x = n_x \cdot R_T, \quad (7)$$

$$n_x = k \cdot h_x, \quad (8)$$

$$R_x = k \cdot R_T \cdot h_x, \quad (9)$$

$$R_x = \frac{n}{h_{max}} \cdot R_T \cdot h_x. \quad (10)$$

Înlocuind (3) și (10) în (4) rezultă:

$$R_{hx} = n \cdot R_T \cdot \left(1 - \frac{h_x}{h_{max}} \right). \quad (11)$$

Cu (11) și (2) rezultă:

$$I_2 = \frac{U_{as}}{R_2 + R_{I2} + R_V + 2 \cdot R_L + n \cdot R_T \cdot \left(1 - \frac{h_x}{h_{max}} \right)}. \quad (12)$$

Deplasarea unghiulară α_x a acului indicator se obține pentru un anumit nivel h_x , în cazul echilibrului momentelor active și de sens contrar M_{a1} și M_{a2} , care se calculează cu:

$$M_{a1} = K_1 \cdot \phi \cdot I_1 \cdot \sin \alpha_x; \quad M_{a2} = K_2 \cdot \phi \cdot I_2 \cdot \sin \left(\frac{\pi}{2} - \alpha_x \right) \quad (13)$$

în care K_1 și K_2 sunt constante care depind de parametri constructivi ai logometrului, iar ϕ - fluxul de valoare constantă, produs de magnetul permanent 5. Momentul activ M_{a2} se mai poate scrie:

$$M_{a2} = K_2 \cdot \phi \cdot I_2 \cdot \cos \alpha_x \quad (14)$$

Din egalitatea:

$$M_{a1} = M_{a2}; \quad K_1 \cdot \phi \cdot I_1 \cdot \sin \alpha_x = K_2 \cdot \phi \cdot I_2 \cdot \cos \alpha_x, \quad (15)$$

rezultă:

$$\operatorname{tg} \alpha_x = \frac{K_2 \cdot I_2}{K_1 \cdot I_1}. \quad (16)$$

Înlocuind în (16) relațiile (1) și (12) obținem:

$$\alpha_x = \operatorname{arctg} \frac{K_2 \cdot (R_1 + R_{I1})}{K_1 \cdot \left[R_2 + R_{I2} + R_V + 2 \cdot R_L + n \cdot R_T \cdot \left(1 - \frac{h_x}{h_{max}} \right) \right]}. \quad (17)$$

În relația (17), dacă se menține constantă suma:

$$R_V + 2 \cdot R_L = R_{V1} + 2 \cdot R_{L1} = R_{V2} + 2 \cdot R_{L2} = \dots = R_{Vn} + 2 \cdot R_{Ln} = R_C \quad (18)$$

singura variabilă este h_x , deci $\alpha_x = f(h_x)$.

Când crește nivelul h_x , scade numitorul relației (17) și crește deviația unghiulară α_x a acului indicator, dar scala 7 a aparatului de măsură este gradată neuniform deoarece dependența (17) dintre α_x și h_x este neliniară. Scala aparatului este etalonată în unități de nivel. Etalonarea se realizează folosind relația (17), ținând seama de condiția (18) în care R_{V1} și $2 \cdot R_{Li}$, $i = 1 \dots n$, sunt valorile pentru o anumită linie de transmisie, ale rezistenței variabile și liniei respective. Suma lor trebuie să fie constantă ($R_C = R_{Vi} + 2 \cdot R_{Li}$). Deci pentru o anumită linie de transmisie se obține valoarea de reglaj R_{Vi} a rezistenței R_V :

$$R_{Vi} = R_C - 2 \cdot R_{Li} \quad (19)$$

Valoarea maximă a rezistenței variabile R_V se obține în cazul ideal, când $R_L = 0$:

$$R_{Vmax} = R_C \quad (20)$$

Cum:

$$R_V = k_V \cdot R_C, \quad (21)$$

$$k_V \in [0 \dots 1], \quad (22)$$

rezultă că pentru $R_V = 0$ Ω se obține valoarea maximă a rezistenței liniei de transmisie:

$$2 \cdot R_{Lmax} = R_C \quad (23)$$

Această valoare nu poate fi depășită, deoarece în fabrica constructoare, etalonarea aparatului se face pentru o anumită valoare a rezistenței R_C .

3.2. Liniarizarea sistemului de telemăsurare cu logometru indicator de nivel

Logometrul indicator de nivel, cu traductor rezistiv format din n trepte R_T (fig. 2) are scala gradată neuniform potrivit relației (17). Pentru liniarizarea sistemului de telemăsurare a nivelului se impune folosirea unui traductor rezistiv format din trepte de rezistențe de valori diferite ($R_{T1} \neq R_{T2} \neq \dots \neq R_{Tn}$).

Înlocuind în expresia (17), relația (11), se obține:

$$\operatorname{tg} \alpha_x = \frac{K_2 \cdot (R_1 + R_{I1})}{K_1 \cdot (R_2 + R_{I2} + R_V + 2 \cdot R_L + R_{hx})} \quad (24)$$

Ținând seama și de (4), relația de sus devine:

$$\operatorname{tg} \alpha_x = \frac{K_2 \cdot (R_I + R_{II})}{K_I \cdot (R_2 + R_{I2} + R_V + 2 \cdot R_L + R_{max} - R_x)}. \quad (25)$$

Pentru $h_x = 0$, $R_x = 0$ și $\alpha_x = \alpha_0$:

$$\operatorname{tg} \alpha_0 = \frac{K_2 \cdot (R_I + R_{II})}{K_I \cdot (R_2 + R_{I2} + R_V + 2 \cdot R_L + R_{max})}. \quad (26)$$

Când nivelul crește până la valoarea maximă, acul indicator are deplasarea unghiulară:

$$\alpha = \alpha_{max} - \alpha_0 \quad (27)$$

Știind că traductorul are n trepte, la creșterea nivelului cu o treaptă deplasarea unghiulară a acului indicator trebuie să fie α_T :

$$\alpha_T = \frac{\alpha}{n}; \quad \alpha_T = \frac{\alpha_{max} - \alpha_0}{n}. \quad (28)$$

Deplasarea α_{max} a acului indicator:

$$\alpha_{max} = \alpha_0 + \alpha \quad (29)$$

se poate obține din (25) când $h_x = h_{max}$, $R_x = R_{max}$:

$$\alpha_{max} = \operatorname{arctg} \frac{K_2 \cdot (R_I + R_{II})}{K_I \cdot (R_2 + R_{I2} + R_V + 2 \cdot R_L)}. \quad (30)$$

Ținând seama de (29) și (25) se obțin:

$$\alpha_I = \alpha_0 + \alpha_T; \quad \alpha_I = \operatorname{arctg} \frac{A}{B + K_I \cdot (R_{max} - R_{xI})}, \quad (31)$$

în care:

$$A = K_2 \cdot (R_I + R_{II}), \quad (32)$$

$$B = K_I \cdot (R_2 + R_{I2} + R_V + 2 \cdot R_L). \quad (33)$$

Din (31) rezultă valoarea rezistenței primei trepte (presupunând că rezistența coloanei de apă h_1 este mult mai mică decât rezistența treptei):

$$R_{T1} = R_{xI} = \frac{I}{K_I} \cdot \left[B + K_I \cdot R_{max} - \frac{A}{\operatorname{tg}(\alpha_0 + \alpha_T)} \right]. \quad (34)$$

În același mod se obțin:

$$R_{x2} = \frac{I}{K_I} \cdot \left[B + K_I \cdot R_{max} - \frac{A}{\operatorname{tg}(\alpha_0 + 2\alpha_T)} \right], \quad (35)$$

$$R_{x3} = \frac{I}{K_I} \cdot \left[B + K_I \cdot R_{max} - \frac{A}{\operatorname{tg}(\alpha_0 + 3\alpha_T)} \right], \quad (36)$$

$$R_{x,n-1} = \frac{I}{K_I} \cdot \left[B + K_I \cdot R_{max} - \frac{A}{\operatorname{tg}[\alpha_0 + (n-1)\alpha_T]} \right], \quad (37)$$

$$R_{xn} = \frac{I}{K_I} \cdot \left[B + K_I \cdot R_{max} - \frac{A}{\operatorname{tg}(\alpha_0 + n\alpha_T)} \right]. \quad (38)$$

Cu aceste relații se calculează treptele traductorului:

$$R_{T1} = R_{x1}; \quad R_{T2} = R_{x2} - R_{x1}; \quad R_{T3} = R_{x3} - R_{x2}; \dots R_{Tn} = R_{xn} - R_{xn-1}. \quad (39)$$

Practic etalonarea echidistantă a scalei logometrului se determină R_{vi} în funcție de R_C și R_{Li} :

$$R_{vi} = R_C - 2 \cdot R_{Li}; \quad (i = 1 \dots n). \quad (40)$$

Se stabilește cât trebuie să fie rezistența maximă a traductorului pentru care α_0 să aibă o valoare cât mai mică și în același timp, rezistențele treptelor să fie mult mai mari decât rezistența echivalentă a lichidului care le scurtcircuitează. Având înseriată R_{max} cu R_C se obține deviația α_0 . Scurtcircuitând R_{max} rezultă α_{max} , deviații care se marchează pe scala gradată. Se stabilește numărul n de trepte ale traductorului pentru care, pe scală, se trasează diviziunile corespunzătoare potrivit relației (28). Se utilizează o rezistență de laborator variabilă care inițial se pune pe valoarea R_{max} după aceea aceasta se micșorează treptat. Când acul este în dreptul primei diviziuni se măsoară R_{h1} și rezultă:

$$R_{T1} = R_{max} - R_{h1} \quad (41)$$

pentru a doua, se obține rezistența R_{h2} și se determină R_{x2} :

$$R_{x2} = R_{max} - R_{h2} \quad (42)$$

ș.a.m.d. (se utilizează și relațiile (39)).

4. Concluzii

Din analiza sistemului de telemăsurare a nivelului cu plutitor și impulsuri de c.c. a rezultat necesitatea montării între bornele A și E (fig.1) a unei rezistențe de limitare R_l a curentului de scurtcircuit, iar la sistemul de indicare, între bornele C și F a unei rezistențe variabile R_v , în funcție de rezistența liniei de transmisie $2 \cdot R_L$, reglată astfel încât tensiunea la bornele bobinelor 9 și 10 să fie cea nominală U_n . În acest caz se impune ca U_c ($U_{c1}=U_{c2}=U_c$) să fie mai mare decât U_n , iar $R_v+2 \cdot R_L=R_c$. Ca dezavantaje ale acestui sistem de telemăsurare se menționează necesitatea reglării aparatului electromecanic de

indicare a nivelului după întreruperea, dintr-o anumită cauză a tensiunii de alimentare, și faptul că atât traductorul, cât și sistemului de indicare, au elemente în mișcare, fiind dispozitive electromecanice.

Cel de-al doilea sistem analizat este utilizat numai la telemăsurarea nivelului lichidelor care au rezistivitate mică. La acest sistem s-a considerat că rezistențele treptelor traductorului au valori mult mai mari decât rezistența coloanei de lichid care le scurtcircuitază. Ca dezavantaje ale acestui sistem se enumeră: necesitatea liniarizării instalației de telemăsurare, în acest scop s-au prezentat în lucrare două metode, și creșterea rigidității mecanice a panglicii de rezistențe.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Popescu, Șt., Mihoc, D., *Automatizări*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1977.
- [2] Popa, G.N., *Senzori și traductoare. Măsurări, traductoare, instrumentație*, suport electronic de curs, Facultatea de Inginerie Hunedoara, Universitatea Politehnica Timișoara, 2013.
- [3] Saimac, A., Cruceru, A.C., *Electrotehnică*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1981.
- [4] Stere, R., *Aparate electronice de măsurare și control*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1968.
- [5] Grave, H.V., *Măsurarea electrică a mărimilor neelectrice*, Editura Tehnică, București, 1966.
- [6] Andrei, D., Georgescu, I., Guran, M., *Automatizări în industria minieră*, Editura Tehnică, București, 1977.
- [7] Saimac, A., și colectiv, *Automatizări în metalurgie*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1978.

Conf.Dr.Ing. Iosif POPA,
membru AGIR, e-mail: iosif.popa@fih.upt.ro
Conf.Dr.Ing. Gabriel Nicolae POPA,
Senior Member IEEE, membru AGIR,
e-mail: gabriel.popa@fih.upt.ro
Șef lucr.Dr.Ing. Corina Maria DINIȘ,
membru IEEE, membru AGIR,
e-mail: corina.dinis@fih.upt.ro
Ing. Carmen MOTORGA,
membru AGIR, e-mail: carmen.motorga@fih.upt.ro

Facultatea de Inginerie Hunedoara, Universitatea Politehnica Timișoara