



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

ANALIZA UNOR SISTEME CLASICE DE TELEMĂSURARE A NIVELULUI LICHIDELOR. SISTEME PLUTITOR-POTENȚIOMETRU CIRCULAR ȘI PLUTITOR- SELSINE - Partea a II-a

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

ANALYSIS ON CLASSIC TELEMETRY SYSTEMS USED FOR LIQUID LEVEL. FLOATING-POTENTIOMETER AND FLOATING-SELSINS SYSTEMS – Part II

The paper presents an analysis of four classic telemetry systems for level measurement, i.e.: for three such systems with float 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, 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

5. Instalație de telemăsurare a nivelului lichidelor, cu plutitor și traductor rezistiv

Instalația cu plutitor și potențiomtru circular, este cel mai simplu sistem de telemăsurare a nivelului. Schema de principiu a instalației este dată în figura 3 [4, 5, 6].

Cursorul potențiometrului 7 este antrenat de roata stelată 5 prin reductorul 6. Roata stelată este acționată de sistemul format din plutitorul 2, lanțul 3 și contragreutatea 4. Prin acest sistem deplasarea liniară h_x este convertită într-o deplasare unghiulară.

Raportul de transmisie al reductorului este astfel ales încât cursorul potențiometrului 7 să se deplaseze cu unghiul α_{max} când nivelul crește de la zero la h_{max} .

Pentru aceasta se impune îndeplinirea relațiilor:

$$h_{max} = k \cdot \alpha_{max} [m] \quad (43)$$

$$h_x = k \cdot \alpha_x [m], \quad (44)$$

în care h_{max} este înălțimea rezervorului 1, h_x este valoarea momentană a nivelului ($h_x \in [0 - h_{max}]$), α_{max} este deplasarea unghiulară maximă a cursorului potențiometrului corespunzătoare unei deplasări a plutitorului pe distanța h_{max} , α_x este deplasarea unghiulară curentă a cursorului potențiometrului, corespunzătoare unei deplasări liniare a plutitorului pe distanța h_x , iar k o constantă dată de relația:

$$k = \frac{\pi}{360^0} \cdot \frac{d_1 \cdot d_3}{d_2} \left[\frac{m}{grad} \right]. \quad (45)$$

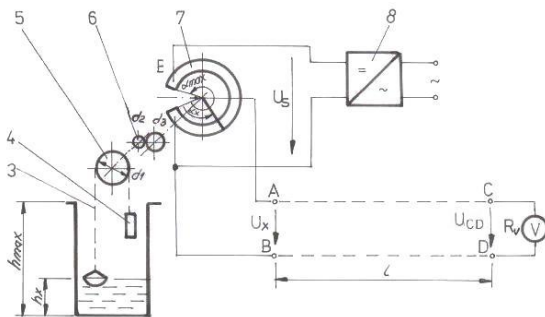


Fig. 3 Instalație de telemăsurare a nivelului lichidelor cu plutitor și traductor rezistiv

În relația (45) d_1 este diametrul mediu al roții stelate 5, iar d_2 și d_3 , diametrele de divizare ale roților dințate din reductorul 6. Din relațiile (43) și (44), prin împărțire membru cu membru, se obține relația dintre deplasarea unghiulară α_x , a cursorului potențiometrului la un moment dat, și mărimea curentă h_x a nivelului, în același moment:

$$\alpha_x = \frac{\alpha_{max}}{h_{max}} \cdot h_x [grad]. \quad (46)$$

Deplasarea unghiulară α_x , determină modificarea rezistenței R_{AB} ($R_{AB} = R_x$) dintre cursor și borna comună B a potențiometrului. Rezistența electrică de la bornele de ieșire a potențiometrului se calculează cu:

$$R_x = \frac{R_{max}}{\alpha_{max}} \cdot \alpha_x \quad [\Omega], \quad (47)$$

în care R_{max} este rezistența maximă a potențiometrului ($R_{max} = R_{EB}$).

Înlocuind în relația (47) deplasarea unghiulară momentană α_x , dată de formula (46) rezultă:

$$R_x = \frac{R_{max}}{h_{max}} \cdot h_x \quad [\Omega]. \quad (48)$$

Relația (48) exprimă dependența dintre mărimea de intrare h_x a sistemului (parametru neelectric) și mărimea de ieșire R_x din sistem (parametru electric), când instalația de telemăsurare a nivelului nu este alimentată cu tensiunea. Alimentând sistemul de telemăsurare a nivelului cu tensiunea U_S de la sursa stabilizată δ și considerând că voltmetrul V este ideal ($R_x = \infty$), se obține:

$$U_x = \frac{U_S}{h_{max}} \cdot h_x \quad [V], \quad (49)$$

în care:

$$U_x = R_x \cdot I \quad [V], \quad (50)$$

iar

$$U_S = R_{max} \cdot I \quad [V], \quad (51)$$

I fiind curentul care străbate potențiometrul, iar U_x ($U_x = U_{AB}$) tensiunea de la bornele de ieșire ale potențiometrului.

În relația (49) raportul:

$$k_I = \frac{U_x}{h_{max}} \quad \left[\frac{V}{m} \right], \quad (52)$$

este constant, deci relația (49) devine:

$$U_x = k_I \cdot h_x \quad [V]. \quad (53)$$

Mărimea de ieșire a sistemului de telemăsurare, alimentat cu tensiunea, este tensiunea U_x . Aceasta este proporțională cu mărimea de intrare h_x a instalației. Sistemul de telemăsurare a nivelului, cu plutitor și potențiometru circular se încadrează în categoria elementelor de automatizare de tip proporțional.

Utilizând relația (49) voltmetrul V se poate etalona în unități de nivel, astfel încât pentru h_{max} să corespundă numărul maxim α_{vmax} de diviziuni ale aparatului. Scala de măsurare este liniară.

Aparatul indică corect nivelul dacă are rezistență interioară foarte mare și este montat local, lângă rezervor. La montarea locală lungimea l a liniei de transmisie este 0 ($l = 0$). Real, linia de transmisie are o anumită lungime, chiar și la montarea locală a aparatului de măsură.

În majoritatea cazurilor, aparatul indicator de nivel se găsește la o distanță de zeci sau chiar sute de metri de locul unde este montat traductorul de nivel. Ca urmare, se impune corectarea indicației aparatului în funcție de căderea de tensiune ΔU_l pe linia de transmisie a instalației de telemăsurare. Căderea de tensiune pe linia de transmisie se determină cu formula:

$$\Delta U_l = \frac{8 \cdot \rho \cdot l}{\pi \cdot d^2} \cdot I_x \quad [V], \quad (54)$$

în care ρ [$\Omega \cdot m$], l [m] și d [m^2] sunt parametri liniei (rezistivitatea conductoarelor, lungimea liniei și diametrul conductoarelor) iar I_x , curentul care străbate linia de transmisie când nivelul are mărimea h_x .

Curentul I_x este dat de:

$$I_x = \frac{U_x}{R_l + R_v} \quad [A], \quad (55)$$

în care R_l este rezistența liniei de transmisie:

$$R_l = \frac{8 \cdot \rho \cdot l}{\pi \cdot d^2}; \quad R_l = R_{AC} + R_{DB} \quad [\Omega]. \quad (56)$$

Înlocuind în ecuația (55) mărimile U_x (49) și R_l (56) se obține expresia curentului din circuitul de măsurare a nivelului:

$$I_x = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot U_S}{(8 \cdot \rho \cdot l + \pi \cdot d^2 \cdot R_v)} \cdot \frac{h_x}{h_{max}} \quad [A]. \quad (57)$$

Cu formulele (54) și (57), rezultă expresia căderii de tensiune pe linia de transmisie a instalației:

$$\Delta U_l = \frac{8 \cdot \rho \cdot l \cdot U_S}{(8 \cdot \rho \cdot l + \pi \cdot d^2 \cdot R_v)} \cdot \frac{h_x}{h_{max}} \quad [V]. \quad (58)$$

Tensiunea U_{CD} de la bornele aparatului indicator se determină cu teorema a doua a lui Kirchhoff aplicată pe linia de transmisie:

$$U_{CD} = U_x - \Delta U_l \quad [V]. \quad (59)$$

Relația care exprimă dependența reală dintre mărimea de ieșire U_{CD} a sistemului de telemăsurare a nivelului și mărimea de intrare h_x , se obține înlocuind cu formula (59), mărimile U_x (53) și ΔU_l (58):

$$U_{CD} = U_v; \quad U_{CD} = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot R_v \cdot U_S}{(8 \cdot \rho \cdot l + \pi \cdot d^2 \cdot R_v)} \cdot \frac{h_x}{h_{max}} \quad [V]. \quad (60)$$

În expresia (60) singura mărime variabilă este nivelul h_x . Expresia (60) este relația generală care se folosește la etalonarea aparatului indicator.

Pentru montarea locală a aparatului de măsură, $l = 0$ și din relația (60), după simplificări, se ajunge la dependența ideală (49) dintre mărimea de ieșire și cea de intrare. Pe de altă parte, chiar dacă pentru etalonare se utilizează formula (60), deoarece rezistența voltmetrului este foarte mare este adevărată inegalitatea:

$$\pi \cdot d^2 \cdot R_V \gg 8 \cdot \rho \cdot l. \quad (61)$$

Din acest motiv paranteza de la numitorul relației (60) are forma:

$$8 \cdot \rho \cdot l + \pi \cdot d^2 \cdot R_V \cong \pi \cdot d^2 \cdot R_V, \quad (62)$$

și în acest fel se ajunge de la expresia (60), la relația (49).

În această analiză a funcționării, instalației de telemăsurare cu plutitor și traductor rezistiv, s-a considerat că rezistența R_{max} a potențiometrului, între bornele de alimentare cu tensiune continuă, este mult mai mică decât R_V , de aceea și $I_x \ll I$. Real însă R_x este parcursă de curentul I , iar restul $R_{max} - R_x$, de curentul $I + I_x$.

Pentru limitarea curentului de scurtcircuit în linie, între cursorul 7 al potențiometrului și capătul A al liniei se montează rezistența R_{l1} (fig.4) care are valoarea egală cu cea a potențiometrului.

În vederea obținerii unei căderi de tensiune constantă pe linie, între borna C și voltmetru se montează rezistența R_{V1} care este considerată că face parte din linie. Rezistența variabilă continuu R_{V1} are valoarea egală cu valoarea maximă impusă a liniei ($R_{V1 max} = R_{l max}$). Cu acestea relația (55) devine:

$$I_x = \frac{U_x}{R_{l1} + R_l + R_{V1} + R_v} \quad (63)$$

La numitorul relației (63) pentru orice valoare a rezistenței liniei, în limitele 0 și $R_{l max}$, se impun:

$$\begin{aligned} R_l + R_{v,l} &= R_C \\ R_{li} + R_{v,li} &= R_C \end{aligned} \quad (64)$$

Când $R_l = R_{l max} = R_C$, $R_{V1} = 0$, iar pentru $R_l = 0$, $R_{V1} = R_{V1 max} = R_C$. În acest caz (63) devine:

$$I_x = \frac{U_x}{R_{l1} + R_C + R_v}, \quad I_x = \frac{U_S}{(R_{l1} + R_C + R_v)} \cdot \frac{h_x}{h_{max}} \quad (65)$$

Căderea de tensiune pe linie se determină cu:

$$\Delta U_l = (R_l + R_{v,l}) \cdot I_x, \quad \Delta U_l = \frac{R_C \cdot U_S}{(R_{l1} + R_C + R_v)} \cdot \frac{h_x}{h_{max}} \quad (66)$$

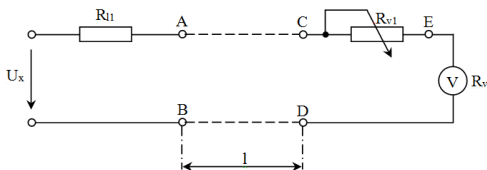


Fig. 4 Limitarea curentului de scurtcircuit și compensarea căderii de tensiune pe linia de legătură a traductorului de nivel (figura 3) cu aparatul de măsură

Tensiunea la bornele aparatului de măsură este:

$$U_{ED} = U_x - \Delta U_{l1}, \quad U_{ED} = \frac{U_S \cdot h_x}{h_{max}} - \frac{R_C \cdot U_S}{(R_{l1} + R_C + R_v)} \cdot \frac{h_x}{h_{max}} \quad (67)$$

$$U_{ED} = \frac{U_S \cdot (R_{l1} + R_v)}{(R_{l1} + R_C + R_v)} \cdot \frac{h_x}{h_{max}}, \quad U_{ED} = k_h \cdot h_x. \quad (68)$$

Se observă că acum tensiunea U_{ED} , indicată de voltmetru, este direct proporțională cu valoarea nivelului h_x , factorul de proporționalitate k_h dat de relația:

$$k_h = \frac{U_S \cdot (R_{l1} + R_v)}{(R_{l1} + R_C + R_v)} \cdot \frac{h_x}{h_{max}}, \left[\frac{V}{m} \right], \quad (69)$$

fiind constant. În acest caz etalonarea voltmetrului în unități de nivel, deci de deplasare liniară, se face utilizând relația (68).

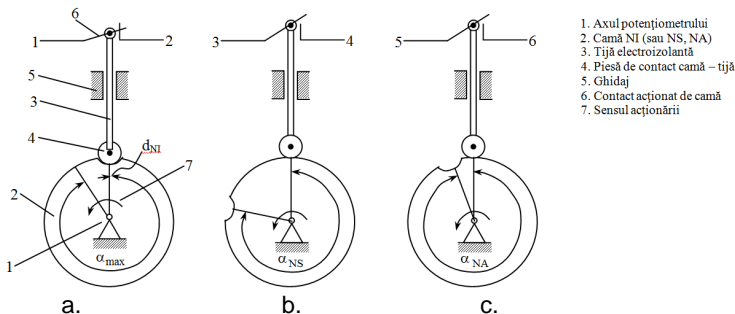


Fig. 5. Camele acționate de axul potențiometrului a. Cama pentru nivelul inferior (NI); b. Cama pentru nivelul superior (NS); c. Cama pentru nivelul de avarie (NA)

Cu ajutorul acestui sistem de telemăsurare a nivelului lichidelor se poate face și comanda automată a pompelor dintr-o stație dacă axul potențiometrului antrenează două sau trei came (figura 5) profilate corespunzător, care acționează microîntreruptoare ce transmit semnale referitoare la procesul condus, instalației de comandă automată în care acestea lucrează. În fig.5 sunt prezentate camele acționate de axul potențiometrului, când se comandă automat pompele dintr-o stație de evacuare a apei la o exploatare minieră subterană. Pompa în funcțiune

este oprită de senzorul NI , pornită de senzorul NS și este activată și pompa de rezervă de senzorul NA . Un astfel de traductor cu potențiomtru și senzori de nivel a fost realizat de ICEMIN București (Institutul de Cercetări Miniere) la care transmisia 6 (fig.3) a fost realizată cu un reductor melcat [2,6].

6. Instalație de telemăsurare a nivelului lichidelor cu plutitor și selsine

În multe aplicații practice este necesară transmiterea la distanță a deplasărilor unghiulare mai mari de 360° . Mecanic acest lucru este imposibil pentru distanțe mari (de ordinul sutelor de metri). Pentru transmiterea la distanță a deplasărilor unghiulare mai mari de 360° se utilizează o instalație compusă din două selsine (fig.6): un selsin emițător S_I și un selsin receptor S_{II} [2,6].

Selsinul este compus dintr-un stator pe care se află montată o înfășurare monofazată compusă din două bobine identice legate în serie, astfel încât fluxurile produse de ele se însumează, și dintr-un rotor, pe care sunt montate trei înfășurări identice legate în stea, decalate între ele cu unghiuri de 120° .

Bobinele statorului sunt alimentate cu tensiune alternativă U_a , iar cele de pe rotor se leagă în opoziție. Când rotoarele au aceeași poziție tensiunile induse în perechile de bobine legate în opoziție cu aceeași valoare:

$$\begin{aligned} u_{11} = u_{21} = U_m \sin \omega t; \quad U_{11} = U_{21}; \\ u_{12} = u_{22} = U_m \sin \left(\omega t - \frac{2\pi}{3} \right); \quad U_{12} = U_{22}; \\ u_{13} = u_{23} = U_m \sin \left(\omega t + \frac{2\pi}{3} \right); \quad U_{13} = U_{23}. \end{aligned} \quad (70)$$

și aceeași fază inițială. Bobinele rotorice nu sunt străbătute de curenți și rotoarele sunt în stare de repaus. Dacă se deplasează rotorul selsinului S_I cu unghiul α se deranjează echilibrul tensiunilor:

$$\begin{aligned} u_{11} = U_m \sin(\omega t + \alpha); \quad u_{21} = U_m \sin \omega t; \\ u_{12} = U_m \sin \left(\omega t - \frac{2\pi}{3} + \alpha \right); \quad u_{22} = U_m \sin \left(\omega t - \frac{2\pi}{3} \right); \\ u_{13} = U_m \sin \left(\omega t + \frac{2\pi}{3} + \alpha \right); \quad u_{23} = U_m \sin \left(\omega t + \frac{2\pi}{3} \right). \end{aligned} \quad (71)$$

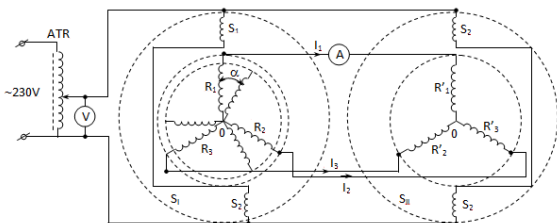


Fig. 6 Schema electrică de principiu utilizată pentru transmiterea la distanță a deplasărilor unghiulare mai mari de 360° cu ajutorul selsinelor

Deci:

$$\underline{U}_{11} \neq \underline{U}_{21}; \underline{U}_{12} \neq \underline{U}_{22}; \underline{U}_{13} \neq \underline{U}_{23};$$

$$\underline{U}_{12} = a^2 \underline{U}_{11}; \quad U_{12} = U_{11}; \quad \underline{U}_{22} = a^2 \underline{U}_{21}; \quad U_{22} = U_{21}; \quad (72)$$

$$\underline{U}_{13} = a \underline{U}_{11}; \quad U_{13} = U_{11}; \quad \underline{U}_{23} = a \underline{U}_{21}; \quad U_{23} = U_{21},$$

$$\text{în care: } a = -\frac{1}{2} + j \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}; a^2 = -\frac{1}{2} - j \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}$$

Perechile de bobine legate în opoziție vor fi străbătute de curenții I_1 , I_2 și I_3 :

$$\underline{I}_1 = \frac{\underline{U}_{11} - \underline{U}_{21}}{\underline{Z}_1}; \quad \underline{I}_2 = \frac{\underline{U}_{12} - \underline{U}_{22}}{\underline{Z}_2}; \quad \underline{I}_3 = \frac{\underline{U}_{13} - \underline{U}_{23}}{\underline{Z}_3}. \quad (73)$$

În aceste relații $\underline{Z}_1, \underline{Z}_2$ și \underline{Z}_3 sunt impedanțele echivalente ale celor trei circuite rotorice. Deoarece bobinele rotorice sunt identice și impedanțele liniei rotorice sunt egale între ele: $\underline{Z}_1 = \underline{Z}_2 = \underline{Z}_3$.

Asupra spirelor bobinelor rotorice a selsinului S_{II} , vor acționa forțe electromagnetice care determină apariția unui cuplu electromagnetic ce deplasează în același sens (spre dreapta) rotorul selsinului S_{II} . Pe măsură ce diferența dintre pozițiile rotoarelor se micșorează, scad valorile curenților care străbat circuitele rotorice și scade și mărimea cuplului electromagnetic. Cuplul electromagnetic se anulează când rotorul selsinului S_{II} ocupă aceeași poziție cu rotorul selsinului S_I . Se menționează că asupra rotorului selsinului S_I acționează un cuplu de sens contrar care tinde să-l readucă în poziția inițială. Acest cuplu este însă mult mai mic decât cuplul sistemului mecanic care antrenează selsinul S_I , deci numai rotorul selsinului S_{II} se va deplasa unghiular.

O aplicație de transmitere la distanță a deplasărilor unghiulare mai mari de 360° , este măsurarea la distanță a nivelului lichidelor dintr-un rezervor, bazin, etc. Pentru aceasta se folosește conversia deplasare liniară (nivel de lichid) într-o deplasare unghiulară utilizând

sistemul cu plutitor, ca și cel din figura 1, în care axul 6 antrenează selsinul emițător. Selsinul receptor antrenează acul indicator 14 prin intermediul unui reductor (figura 7) dimensionat astfel încât când plutitorul parcurge distanța $h_x \in [0 \dots h_{max}]$ și $\alpha_x \in [0 \dots \alpha_{max}]$ [2, 7].

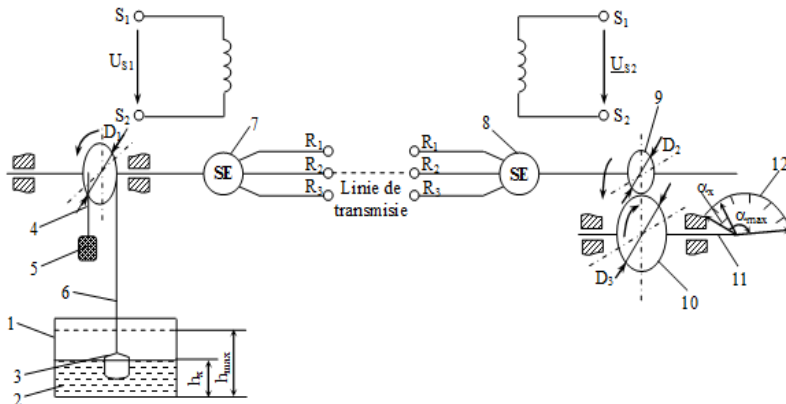


Fig.7 Instalație de telemăsurare a nivelului lichidelor cu plutitor și selsine

Și la acest sistem de telemăsurare, ca și la cel cu impulsuri de c.c., dezavantajul principal este acela că după întreruperea tensiunii sau a unui conductor din linie, se impune reglarea, din nou, a sistemului de indicare al nivelului.

În figura 7 se prezintă schema de principiu a instalației de telemăsurare a nivelului lichidelor cu plutitor și două selsine. Primul selsin SE este emițător și are rotorul antrenat de plutitorul 3 și contragreutatea 5, legate între ele cu lanțul 6, prin intermediul roții stelate 4. Când plutitorul parcurge distanța h_x , care este valoarea nivelului lichidului 2 din rezervorul 1, la un moment dat, rotorul selsinului SE este rotit de n_x ori. De același număr de ori se rotește și rotorul selsinului receptor SR, care prin intermediul reductorului 9, 10 determină deplasarea unghiulară α_x a acului indicator.

În vederea reducerii numărului de conductoare ale liniei de transmisie de la cinci, la trei, se impune ca înfășurarea monofazată a fiecărui selsin să fie alimentată de la o sursă proprie de curent alternativ. Cele două surse de c.a. sunt identice.

7. Concluzii

Instalația cu plutitor și potențiomtru circular este sistemul cel mai simplu de telemăsurare a nivelului. Și pentru acest sistem s-a

propus utilizarea rezistenței de limitare a curentului de scurtcircuit din linia de transmisie și a rezistenței de compensare a rezistenței liniei de transmisie, ca și la instalația cu traductor rezistiv și logometru indicator de nivel.

Ultimul sistem de telemăsurare a nivelului analizat este cel cu plutitor și selsine. La acest sistem se impune utilizarea a două surse identice de tensiune care să aibă aceeași tensiune, aceeași fază și aceeași frecvență. O sursă alimentează cu tensiune selsinul emițător, iar a doua, selsinul receptor. Dezavantajele sistemului sunt tot cele amintite la prima instalație de telemăsurare a nivelului analizată în lucrare.

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