

INTERFAȚA DE COMUNICAȚIE CU PROCESUL TEHNOLOGIC DE ALIERE A STRUCTURILOR EPITAXIALE DIN $GaAs$

Ion FIODOROV, Bartolomeu IZVOREANU, Ștefan LOZOVAN

Universitatea Tehnică a Moldovei

Abstract: În lucrare se realizează interfața de comunicație a procesului tehnologic de aliere a structurilor epitaxiale din arsenură de galiu $GaAs$ cu calculatorul, în scopul monitorizării și controlului procesului în timp real. Pentru a soluționa problema formulată s-a efectuat o analiză a procesului tehnologic și a instalației IEC-3/4R de creștere a structurilor semiconductoare. În calitate de regulator automat a fost ales regulatorul industrial, universal programabil cu două canale TRM151-01-II cu realizarea algoritmului PID, dotat cu interfața RS-485 și protocolul de comunicație OWEN. La acordarea regulatorului s-au utilizat algoritmi analitici de sinteză pentru sisteme de reglare automată cu performanțe impuse, elaborați după criteriul gradului maximal de stabilitate.

Cuvinte cheie: structuri epitaxiale, arsenură de galiu $AsGa$, proces de aliere, regulator industrial, interfață de comunicație, protocol de comunicație.

1. Instalația tehnologică de epitaxie IEC-3/4R

Creșterea structurilor semiconductoare cu straturi multiple pentru diferite aplicații prin utilizarea metodei cu transport de reacții în sistemul de gaze $AsCl_3-Ga-H_2$ se realizează în instalația tehnologică IEC-3/4R cu reactor orizontal din cuarț optic ($d=50\text{ cm}$) la presiune joasă ($p=10-100\text{ Pa}$). Schema funcțională a instalației se dă în figura 1 [1, 2].

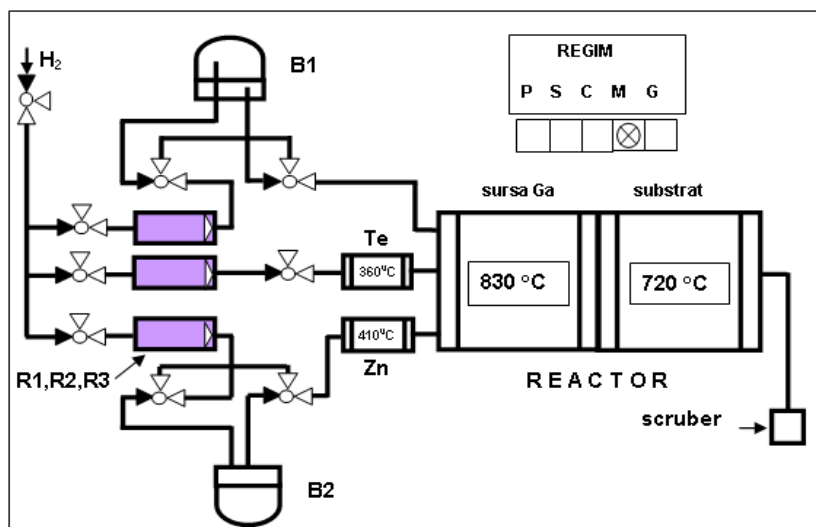


Fig. 1. Schema funcțională a instalației de epitaxie a $GaAs$ cu transport de reacții IEC-3/4R.

Instalația de epitaxie a $GaAs$ (figura 1) conține șase obiecte de reglare termică: o cameră pentru sursa de galiu (Ga) și alta pentru substraturi, ambele instalate în reactor, o cameră pentru sursa de Te și alta pentru sursa de Zn , instalate la intrare în reactor, două barbotoare B1, B2 cu triclorură de arsen ($AsCl_3$). Sistemul de gaze conține trei rotametre R1, R2 și R3 pentru controlul debitului de hidrogen (H_2) conform procesului tehnologic. Reactorul cu substraturile de $GaAs$ este asigurat cu trei fluxuri de gaze la intrare F_{Zn} , F_{Te} , $F_{Ga,As}$, care transportă substanțele Ga , As , Zn , Te , H_2 sub formă de vapori cu concentrațiile specifice C_{Zn} , C_{Te} , C_{H_2} etc., determinate de procesul tehnologic.

Automatizarea acestui proces tehnologic complex se divizează în șase subsisteme de reglare. Subprocesul tehnologic de aliere a straturilor semiconductoare cu Zn și Te este responsabil de concentrația purtătorilor de sarcină în stratul epitaxial $GaAs$ și reprezintă partea cea mai sensibilă în ceea ce privește calitatea produsului final. Pentru a obține concentrația și omogenitatea necesară a dopanților în structurile epitaxiale se impun cerințe stricte față de fluxurile de gaze F_{Zn} și F_{Te} , controlate fiind la intrarea în reactor

prin reglarea temperaturii surselor de vapori de Zn și Te . Reieșind din aceste motive, în [2] se formulează și se soluționează problema de automatizare a procesului de aliere a structurilor epitaxiale din $GaAs$, astfel încât să se obțină concentrația și omogenitatea necesară a dopanților de Zn și Te în semiconductori.

În această lucrare se realizează interfața de comunicație a regulatorului cu calculatorul, cu scopul monitorizării și controlului în timp real a procesului industrial de aliere a structurilor epitaxiale din $GaAs$.

2. ALEGEREA ȘI CONFIGURAREA REGULATORULUI. INTERFAȚA ȘI PROTOCOLUL DE COMUNICAȚIE

În calitate de regulator automat s-a utilizat regulatorul industrial, universal programabil cu două canale TRM151-01-II cu realizarea algoritmului PID, produs de firma „OWEN” (figura 2).



Fig. 2. Regulatorul industrial, universal programabil cu două canale pid owen trm151-01-ii.

caracteristicile tehnice ale regulatorului [4]:

- tensiunea de alimentare 90...245 v, curent alternativ;
- frecvența tensiunii de alimentare 47...63 hz;
- puterea consumată nu depășește 6 w;
- 2 porturi de intrare și 2 porturi de ieșire;
- perioada minimă de achiziție de date pe un canal 0.3 s;
- 2 regimuri de funcționare: regimul de reglare bipozițională și reglare în baza algoritmului pid;
- autoacordarea regulatorului pid după un algoritm modern și efectiv;
- interfața de comunicație cu calculatorul rs-485 (protocolul owen);

TPM151 are posibilitatea conducerii procesului tehnologic conform unui program, care reprezintă o succesiune de pași. Pentru fiecare etapă a programului se pot indica parametrii de reglare și condițiile de trecere la următorul pas. Regulatorul poate avea 12 programe a câte 10 etape fiecare.

Regulatorul trm151 permite conectarea la cele 2 intrări ale sale o diversitate mare de traductoare. Modul de conectare a acestora este dat în fig. 3.

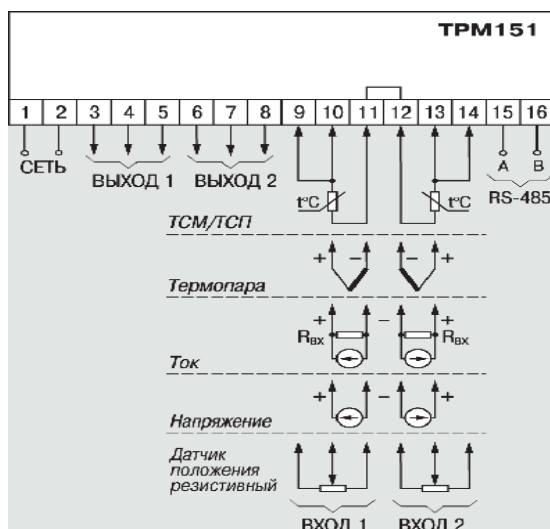


Fig. 3. Schema de conectare a regulatorului TPM151.

Regulatorul TPM151 este dotat cu modulul de interfață RS-485, organizat după protocolul standard

OWEN. Interfața RS-485 permite:

- configurarea regulatorului de pe calculator;
- de a transmite în rețea valorile actuale ale mărimilor măsurate, parametrii programului dat precum și alți parametri programabili;
- a primi din rețea date pentru generarea semnalelor de reglare;
- prin intermediul interfeței RS-485 pot fi interconectate mai multe dispozitive și module intrare-ieșire.

TPM151 funcționează într-o astfel de rețea în calitate de "master", controlând funcționarea altor dispozitive.

În calitate de module de extensie pot fi folosite OBEH MBA8 (modul cu 8 canale de intrare a semnalelor analogice) și OBEH MBY8 (modul de ieșire cu 8 canale). Conectarea TPM151 la calculator se realizează prin adaptorul OBEH AC3-M sau AC4. La integrarea TPM151 în sisteme de conducere automată, în calitate de software poate fi utilizat produsul program SCADA Trace Mode.

Standardul RS-485 permite comunicații fiabile la distanțe de până la 1200 m, folosind cabluri relativ ieftine și transmisie diferențială. Viteză maximă de transmisie 0,1-10 Mbit/s [5].

Rețelele RS-485 folosesc nivele de tensiune diferențială care asigură o imunitate crescută la zgomote. În practică se utilizează convenția "A+" și "B-" pentru a reprezenta liniile 'A' și 'B' definite de standardul RS-485 (figura 4). Comunicația RS-485 este de tip semi-duplex (half-duplex) pe o pereche de fire răsucite, plus un cablu pentru masa comună.

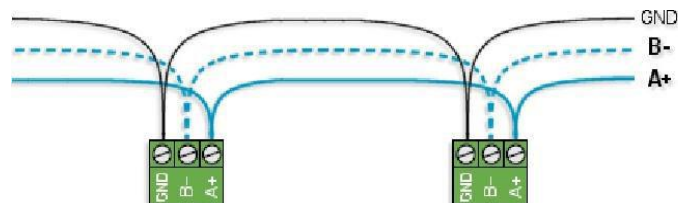


Fig. 4. Modul de conectare a dispozitivelor conform RS-485.

Pe același segment de rețea pot exista până la 32 de controlere. Pentru rețele mai complexe, cu mai mult de 32 de controlere și multiple segmente de rețea sunt necesare routere pentru a interconecta segmentele rețelei (figura 5). În aceeași rețea pot fi multiple echipamente emițătoare și multiple echipamente receptoare, dar numai unul poate transmite la un moment dat. Fiecare echipament are o adresă unică (ID) în același segment al rețelei, configurată de utilizator în faza de comisionare a rețelei. Toate echipamentele din același segment de rețea primesc date, dar numai echipamentul cărui îi sunt adresate datele răspunde dacă este necesar.

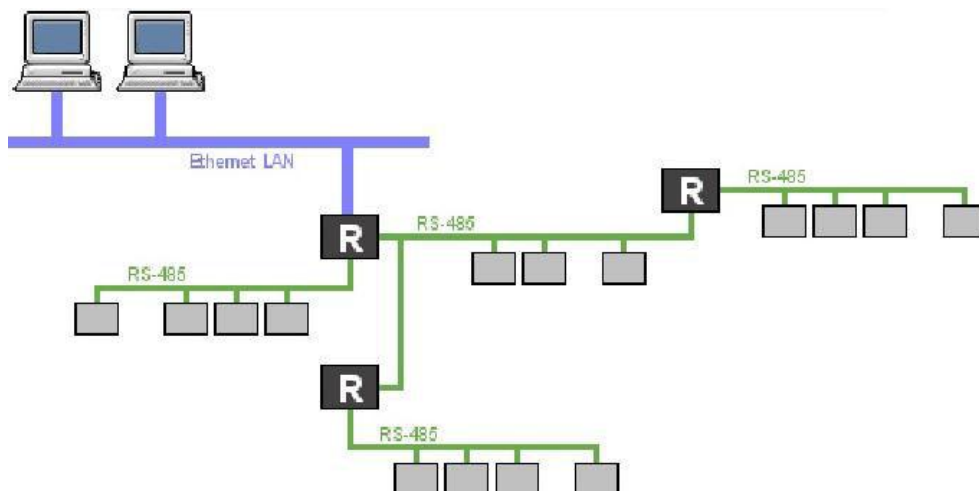


Fig. 5. Rețele RS-485 complexe.

Standardul RS-485 nu precizează structura datelor transmise, mecanisme de control al fluxului de date sau mecanisme de detecție a erorilor. Acestea pot fi preluate din alte standarde seriale de comunicație sau pot fi definite de utilizator.

Regulatorul industrial TPM151 folosește protocolul de comunicație OWEN. În figura 6 se prezintă formatul unui cadru de date în protocolul OWEN [6]. Transmițătorul codifică fiecare tetradă a mesajului

inițial în simboluri ASCII, în dependență de formatul solicitat al transmisiunii, cu un cod de 7 sau 8 biți, se adaugă sau nu bitul de paritate, iar fiecare octet transmis este încadrat între două elemente adiționale reprezentate electric în mod diferit: un element de start, precedând octetul de informație, având durata egală cu intervalul de bit și un element de stop, care urmează după octetul de informație și are durata oarecare, dar cel puțin cât un interval de bit.

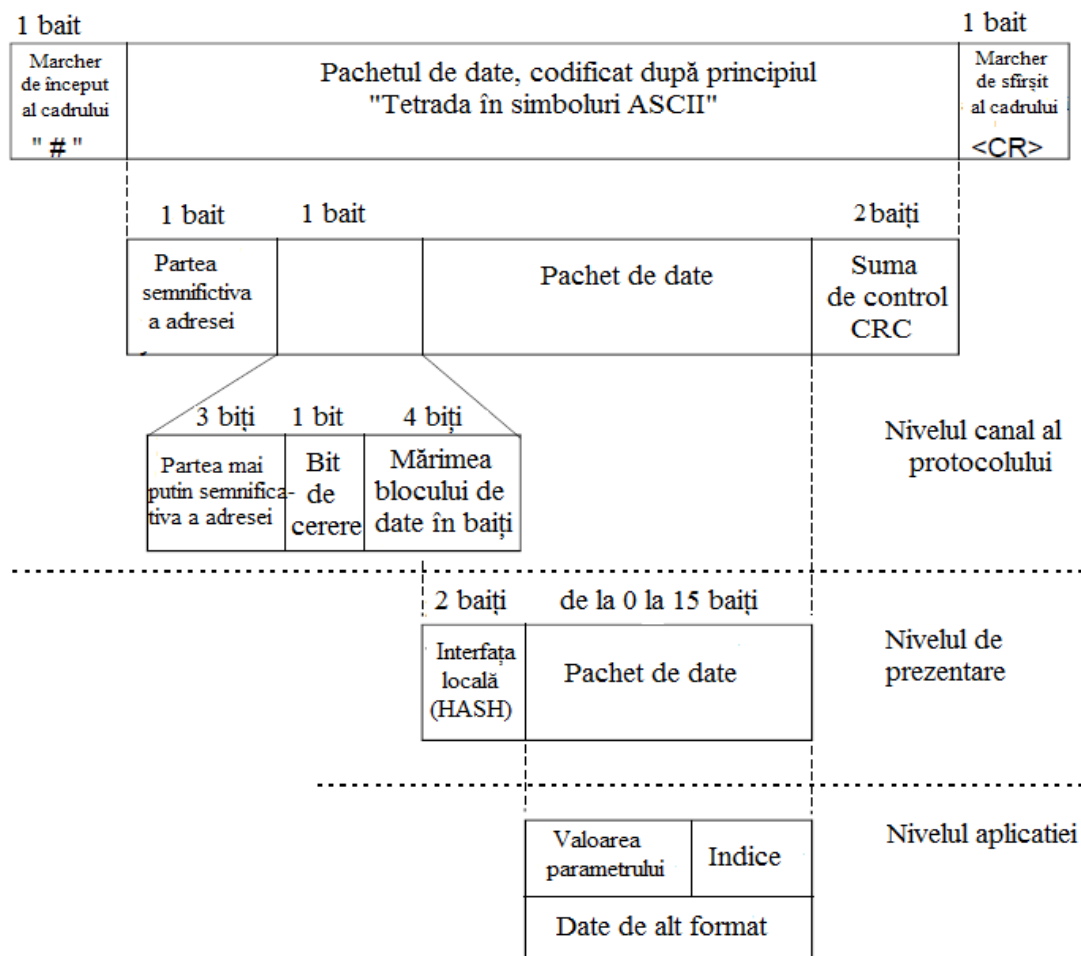


Fig. 6. Formatul cadrului de date în protocolul OWEN.

Pentru delimitarea cadrelor de informație se utilizează caractere de control. În calitate de început al cadrului se folosește caracterul ASCII "#" (cod 0x23), iar în calitate de sfârșit de cadru caracterul ASCII <CR> (cod 0x0d).

Cadrul de informație are următoarea structură:

- 8 biți - partea semnificativă a adresei ;
- 3 biți - partea mai puțin semnificativă a adresei;
- 1 bit - bitul de cerere;
- 4 biți - desemnează mărimea blocului de date în octeți;
- de la 2 până la 17 octeți - blocul de date;
- 16 biți - suma de control.

Protocolul de date folosește pentru dispozitivele din rețea adrese de diferite dimensiuni: de 11 biți și de 8 biți, în acest scop în protocol există partea semnificativă și partea mai puțin semnificativă a adresei. Pentru a simplifica lucrurile, în cazuri particulare, se folosește adresarea pe 8 biți. În acest caz, biții mai puțin semnificativi se completează cu zerouri.

Bitul de cerere servește pentru a marca comanda de solicitare a valorii parametrului (semnalul logic „1”) sau a cadrului de date (semnalul logic „0”). Solicitarea de citire a parametrului trebuie să conțină bitul de cerere setat în 1, iar câmpul de date să fie liber sau conțină indicele parametrului solicitat. În caz că se primește răspuns la solicitare sau la comanda de a înscrie valoarea parametrului, bitul de cerere se setează în 0, iar câmpul de date conține informația.

Suma de control înglobează toți biții de informație primiți de la transmițător, inclusiv adresa, lungimea și

însuși blocul de date, însă nu include caracterele de control pentru delimitarea începutului și sfârșitului cadrului de informație.

Blocul de date conține datele care necesită de a fi transmise către următorul nivel.

3. Sistemului automat de aliere a structurilor epitaxiale din GaAs

Schema bloc funcțională a sistemului automat de aliere a structurilor epitaxiale din *GaAs* se dă în figura 7. În camerele surselor pentru dopanți (G_{Zn} și G_{Te}) au fost instalate două termocupluri TXA, semnalul de la ieșirea cărora se aplică la intrările analogice ale regulatorului TRM151-01. Conexiunea se efectuează în conformitate cu figura 3. Regulatorul implementează algoritmul de reglare PID și în dependență de evoluția temperaturii măsurate elaborează semnalul de comandă, care se aplică la intrarea elementului de execuție EE (încălzitor rezistiv), astfel încât temperatura în camerele surselor pentru dopanți să se mențină la valoarea de referință, necesară pentru a asigura concentrația purtătorilor în semiconductor. Totodată, prin intermediul interfeței RS-485 se efectuează legătura regulatorului cu calculatorul, unde operatorul are posibilitatea configurării dispozitivului de reglare, setarea programului tehnologului, monitorizarea și controlul în timp real al procesului de aliere.

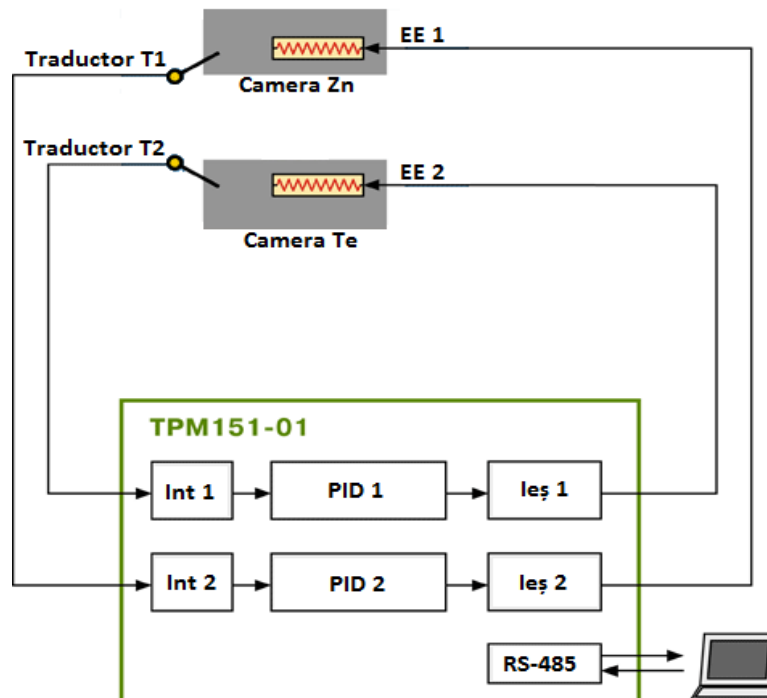


Fig. 7. Schema bloc funcțională a sistemului automat de aliere a structurilor epitaxiale din GaAs.

În lucrarea [2] s-a formulat problema de automatizare a procesului de aliere, s-a identificat modelul obiectului reglat și în conformitate cu metoda gradului maximal de stabilitate pentru sisteme de reglare automată cu performanțe impuse [3] au fost determinați parametrii de acord ai regulatorului PID, astfel încât să se obțină un proces tranzitoriu cu un suprareglaj de 20 %:

$$k_p = 4,176, k_i = 3,64, k_d = 0,7.$$

Acești parametri au fost setați în regulatorul industrial TRM151-01, iar mărimea perioadei de discretizare s-a ales din condiția [7]

$$\Delta t = (1/15 \dots 1/6) \cdot t_{sto} = 20s,$$

unde t_{sto} este timpul de stabilizare a procesului tranzitoriu al mărimii de ieșire a obiectului reglat după valoarea $0,95 y_{st}$.

Procesul tranzitoriu al sistemului automat implementat în instalația industrială IEC-3/4R de creștere epitaxială a straturilor de arseniură de galiu GaAs prin metoda transport de reacții, se dă în figura 8.

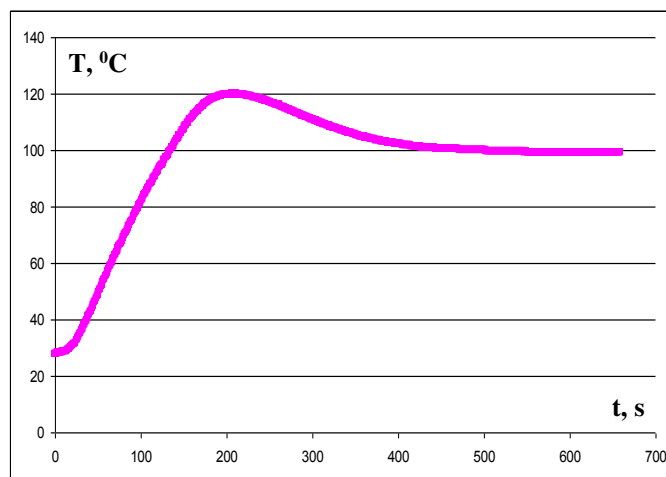


Fig. 8. Procesul tranzitoriu al sistemului automat implementat în instalația IEC-3/4R.

Din figura 8 se observă că în rezultatul implementării sistemului automat sintetizat în conformitate cu metoda Gradului Maximal de Stabilitate sunt satisfăcute cerințele de performanță impuse la etapa formulării problemei de automatizare și se asigură un suprareglaj de 20% al procesului tranzitoriu al sistemului proiectat.

4. Concluzii

În rezultatul analizei procesului de aliere a structurilor epitaxiale din *GaAs* s-a stabilit că problema de automatizare se reduce la reglarea temperaturii în camerele pentru dopanții de *Zn* și *Te* în dependență de concentrația prescrisă a purtătorilor de sarcină respectivi, iar pentru a obține concentrația și omogenitatea necesară a dopanților în structurile epitaxiale este necesară maximizarea la etapa inițială a concentrației vaporilor emanați de sursele pentru dopanți prin impunerea unui suprareglaj de 20% procesului tranzitoriu al parametrului reglat. În urma implementării sistemului în cadrul CȘI „InformInstrument” S.A. (Chișinău), proiectat conform algoritmului propus de sinteză a reglatoarelor pentru SRA cu grad maximal de stabilitate și suprareglaj impus, timpul atingerii stării staționare a fluxului de aliere în zona de creștere a reactorului s-a micșorat de două ori, iar performanțele structurilor epitaxiale au crescut cu 20%.

Totodată, datorită realizării interfeței de comunicație a procesului cu calculatorul este posibilă configurarea la distanță a regulatorului de pe calculator, monitorizarea și controlul în timp real al procesului de aliere și întocmirea rapoartelor în ceea ce privește evoluția parametrilor procesului.

Bibliografie

1. *Арсенид галлия в микроэлектронике*. Под редакцией Н. Айнспрука, У. Уйсмена. Перевод с английского под редакцией В. Н. Мордовича. Москва: Мир, 1988, 555 с.
2. Baranov S., Fiodorov I., Cojuhari I., Izvoreanu B., Gorceac L. Gashin P. *Automatic Control Quality of the Alloying Process at the Epitaxial Semiconductor Structure Growth*. In: Annals of the University of Craiova, Electrical Engineering series, No. 37, 2013, p. 57-61. ISSN 1842-4805.
3. Fiodorov, I., Fiodorov, O. *Sinteza SRA cu performanțe impuse în baza criteriului gradului maximal de stabilitate*. În: Proceedings of the 6th International Conference on “Microelectronics and Computer Science” ICMCS – 2009, UTM, Chișinău, 1-3 octombrie 2009, p. 328-329.
4. http://www.owen.ru/catalog/universalnij_dvuhkanalnij_programmij_pid_regulyator_owen_trm151/opisanie.
5. <http://www.scribd.com/doc/246842975/INTERFATA-SERIALA-RS485#scribd>.
6. ftp://ftp.totalkip.ru/report.local/manual/Owen_manual_595.pdf.
7. Денисенко В. *ПИД-регуляторы: вопросы реализации*. Часть 2. В: Современные технологии автоматизации, № 1, 2008, с. 86-99.