

REZUMAT RAPORT STIINTIFIC SINTETIC INTERMEDIAR

privind implementarea proiectului in perioada ianuarie-mai 2023

ETAPA 3

WP5. Validarea tehnologiei de laborator pentru detectia selectiva a SY

Activitatea 3.1. *Formulara conceptului, proiectarea, dezvoltarea și fabricarea componentelor electronice necesare construirii platformei portabile de detectie*

Activitatea 3.2. *Dezvoltare de software si hardware; asamblarea modelului experimental*

Activitatea 3.3. *Testarea noului sistem de detectie electrochimică PORTA-SYD în condiții de laborator*

Activitatea 3.4. *Validarea eficienței sistemului integrat portabil dezvoltat în probe reale*

Activitatea 3.1. *Formulara conceptului, proiectarea, dezvoltarea și fabricarea componentelor electronice necesare construirii platformei portabile de detectie*

În cadrul acestei activități s-a început proiectarea și realizarea modelului experimental de dispozitiv electronic portabil pentru detecția Sunset Yellow. Analiza proiectului la nivelul schemei electronice a indicat faptul că forma cea mai eficientă pentru elaborarea sistemului hardware consta în distribuirea componentelor electronice pe două circuite imprimate. Având funcții hardware diferite, cele două plăci electronice au suport software distribuit independent. Acest mod de proiectare asigură modularizarea dispozitivului final realizat fapt care permite dezvoltarea ulterioară atât din punct de vedere software cât și a modului de implementare la nivel hardware. Modelul experimental este conceput a fi realizat în tehnologie SMD cu plan dublu de masă, având separate elementele de circuit digitale de cele analogice. Această abordare modulară permite o bună flexibilitate necesară dezvoltărilor ulterioare cât și o imunitate sporită la zgomot electric având în vedere utilizarea unui circuit convertor ADC pe 16 biți. Dimensiunile reduse (130mm x 60mm x 23mm) au permis proiectarea într-un format nou de prototip portabil având incluse atât bateria cu Li-Ion cât și un afișaj color de dimensiuni reduse. Cele două plăci de circuit imprimat care constituie dispozitivul proiectat și realizat folosesc câte o structură PCB din laminat FR4 de rășină epoxidică cu grosimea de 1.5 mm, având strat dublu de Cu la grosimea de 18 μm și cu găuri de trecere pentru conexiunile dintre straturi. Plăcile de circuit imprimat au fost realizate prin tehnica litografierii la cald care permite depunerea traseelor de circuit în imagine pozitivă. Această metodă asigură o prototipare rapidă a schemelor electronice anterior proiectate și permite identificarea erorilor de proiectare în schemă, sau a celor de amplasare fizică pe circuitul PCB. Din acest motiv circuitul proiectat și realizat este la stadiul de prototip funcțional capabil să efectueze măsurători de concentrație prin utilizarea metodei tip potențostat utilizată în electrochimie. Schemele electronice și cablajele au fost proiectate în mediul de programare Labcenter Proteus. Licența deținută de INCDTIM pentru acest software, permite realizarea de circuite imprimate având compatibilitate și complexitate industrială.

ELEMENTELE COMPONENTE ALE PROTOTIPULUI DEZVOLTAT:

1.	Placa electronică pentru achiziția semnalului de la senzorul interdigitizat
2.	Placa electronică pentru controlul afișajului color de tip DEM240320 (A-TOUCH)
3.	Cablaje imprimate PCB dublu strat

1. Placa electronică pentru achiziția semnalului de la senzorul interdigitizat

Urmare a măsurătorilor efectuate comparativ cu rezultatele estimate la faza de model experimental au fost determinate următoarele specificații:

- domeniul de variație al potențialului: programabil în domeniul $-2.4998\text{V} \dots +2.49\text{V}$ având increment minim teoretic de $76.13\mu\text{V}$, iar practic aplicabil 2.49mV în funcție de numărul de pași rezultați din calculul efectuat de microcontrolerul sistemului. Astfel sistemul acoperă cu mult nevoile de rezoluție impuse de condițiile de măsurare
- un număr de max. 2000 de pași cu determinarea automată a valorii pasului, funcție de viteza de scanare impusă
- domeniul de măsură pentru curentul rezultat la extremele de potențial ajunge la valorile $\pm 350\mu\text{A} \div \pm 50\text{nA}$ cu increment minim dat de pasul de potențial aplicat pe senzor
- offset-ul de curent pentru circuitul de intrarea al convertorului de trans-impedanță este de max. $\pm 10\text{pA}$ valoare dată de caracteristica amplificatorului operațional OPA145
- impedanța de intrarea a amplificatorului diferențial rezultat ca urmare a măsurătorilor de curent pentru extremele de potențial este extrem de ridicată de ordinul a $10^{13} \parallel 5 (\Omega \parallel \text{pF})$. Această valoare a impedanței acoperă cu o rezervă de cel puțin 3 ordine de mărime condițiile reale de măsurare impuse de curenții prin senzor

Achiziția semnalului de la senzorul de concentrație a impus utilizarea următoarelor module electronice acestea fiind prezentate la nivel de schemă electronică și sunt descrise în detaliu:

a. Convertorul USB-UART (RS232) de tip FT232RL - asigură transmisia datelor în regim serial asincron între interfață și calculator în regim de Full-speed la o frecvență de 48Mhz. Protocolul USB este gestionat de către modulul FT232RL și se asigură conversia vitezei UART de 115200 Baud, către un PC compatibil Windows 8/10 64 de biți. Având integrată o memorie EEPROM pentru configurarea I/O, sunt stocate datele privind USB VID, PID precum și identificatorul de produs. Se asigură astfel compatibilitatea de controler gazdă de tip UHCI/ OHCI/ EHCI. Astfel că circuitul în arhitectură USB FTDIChip-ID™ nu impune utilizarea de fișiere de tip descriptor la nivelul driverelor software din PC. Circuitul FT232RL este programabil pentru toți parametrii de funcționare. Acest aspect permite programarea chip-ului pentru aplicații cu recunoașterea automată a portului COM la nivelul aplicației de PC. Astfel indiferent de portul COM alocat de către calculator, aplicația va citi string-ul descriptorului și va conecta corespunzător placa hardware la portul COMx alocat, fără să fie necesară intervenția utilizatorului. Schema modulului de comunicație este dată în Figura 1.

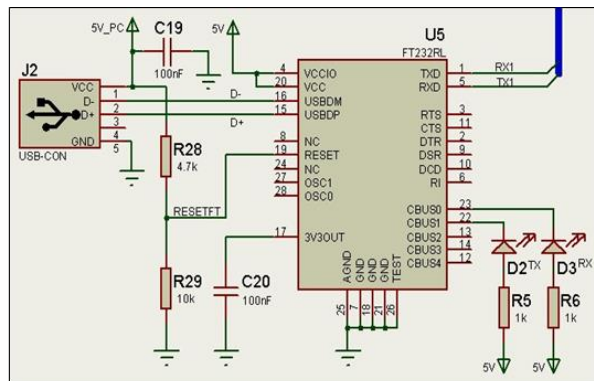


Figura1. Modulul de comunicație cu calculatorul

b. Microcontrolerul din seria Microchip de tip PIC18F46K22 permite o abordare flexibilă a protocolului de transmisie cât și o implementare eficientă a funcțiilor necesare. Transmisia datelor către PC se face în timp real imediat după achiziția valorii curentului furnizat de amplificatorul de trans-impedanță, sau după parcurgerea numărului total de pași. Acest ultim mod de transmisie se impune pentru cazul în care prelucrarea numerică a datelor se face la bordul interfeței portabile și nu în aplicația de PC. În acest scop sistemul este dotat cu o memorie RAM având capacitatea de 1Mb, spațiu suficient pentru valorile primare achiziționate cât și pentru stocarea rezultatelor obținute din calculele algoritmului de evaluare numerică a concentrației. Modulul microcontroler împreună cu circuitele ADC respectiv DAC este prezentat în Figura 2. Microcontrolerul U14 este din seria eXtreme Low-Power Features (XLP) de mare performanță cu arhitectură RISC pe o viteză a ceasului sistem de 64MHz. Având consum redus de curent și o memorie program disponibilă de 64KB, simulările pe software-ul de aplicație au indicat faptul această dimensiune

a memoriei program este suficientă pentru sistemul dezvoltat. Aplicația prezentată utilizează memoria RAM internă numai pentru stocarea variabilelor de program. Memoria RAM nu se utilizează pentru stocarea datelor achiziționate deoarece cantitatea SRAM de 3896 octeți nu este suficientă sau este limitativă pentru un anumit număr impus de puncte de achiziție. În acest scop se utilizează circuitul U4 de tip 23LCV1024, utilizată cu rol de memorie RAM externă, aceasta având capacitatea de 1Mb sau 128MB. Accesarea memoriei RAM externe se face utilizând o interfață serială SPI cu viteze de până la max. 20MHz. Acest circuit suportă un număr nelimitat de scrieri/citiri în următoarele moduri de operare; modul pe octet, modul pe pagină respectiv modul secvențial. Aplicația utilizează modul de operare pe octet și modul secvențial în funcție de accesarea pentru scriere sau pentru citire.

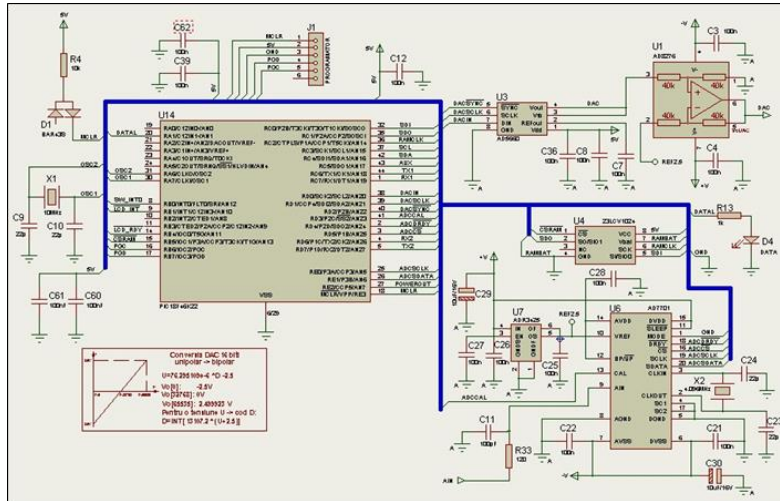


Figura 2. Modulul microcontroler

Citirea valorii curentului convertit se realizează prin utilizarea unui convertor analog-numeric (ADC) cu arhitectură pe 16 biți U6, produs de către Analog Devices AD7701. Acest convertor este de tip sigma-delta (Σ - Δ) având o eroare de liniaritate de maximum 0.0015%. Liniaritatea întregului lanț de achiziție sensor-ADC nu este afectată de zgomotul cules la intrare. Figura 3 reprezintă graficul de variație dat de un semnal de intrare în domeniul de utilizare, testat pe o rezistență fixă de valoare mare (1M Ω) amplasată în locul senzorului.

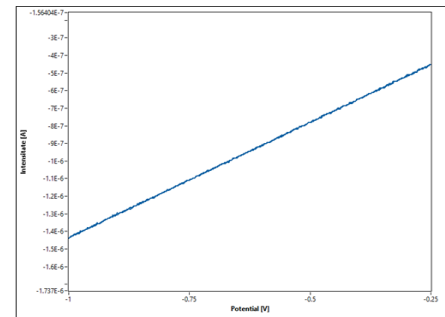


Figura 3. Liniaritatea lanțului de achiziție

Circuitul ADC AD7701 are capacitate de procesare numerică a valorilor achiziționate prin suprașantionarea semnalului de la intrare urmată de o decimare a datelor conform cu valoarea dorită pentru rejectarea zgomotului de rețea (50Hz sau 60Hz). Etajul modulator al circuitului AD7701 este procesat de către un filtru intern de tip Gaussian cu 6 poli care actualizează regiștrii de ieșire cu o rată de 4KHz. Structura internă complexă a convertorului sigma-delta este prezentată în Figura 4, împreună cu frecvența de răspuns din Figura 5. Este important de observat în Figura 5 faptul că, în cazul circuitului AD7701, pentru a asigura un număr de cel puțin 4 achiziții/secundă cerute de aplicație, este necesară utilizarea unui ceas sistem de peste 4MHz. Astfel că pentru o frecvența a ceasului sistem de 4.096MHz, rezultă o frecvență de tăiere a convertorului de 10Hz. Accesarea regiștrilor circuitului AD7701 se face utilizând o interfață SPI cu viteza de maximum 5MHz. Aplicația realizată necesită utilizarea convertorului AD7701 în regim bipolar, fapt care impune utilizarea unei surse de alimentare bipolară. De asemenea acest mod de lucru face ca valoarea finală achiziționată să fie transferată în regiștrul de ieșire în format de

complement față de 2. Funcționarea corectă a circuitelor interne analogice presupun utilizarea unei referință de tensiune de mare precizie. Astfel circuitul AD7701 folosește U7 (ADR3425) cu rol de referință de tensiune având pe întreg spectrul la intrare de până la 10Hz, un zgomot $<10\mu\text{Vpp}$.

Generarea potențialului bipolar se face prin utilizarea unui convertor numeric-analogic (DAC) AD5660 de tip unipolar. Potențialul bipolar se obține prin utilizarea circuitului U1 AD8276 în configurație de amplificator diferențial care va converti tensiunea de ieșire unipolară de la convertorul DAC în tensiune bipolară având ca și referință tensiunea de referință furnizată de către U7. Graficul din Figura 6 prezintă ieșirea tensiunii circuitului U1 în raport cu tensiunea de referință de +2.5V.

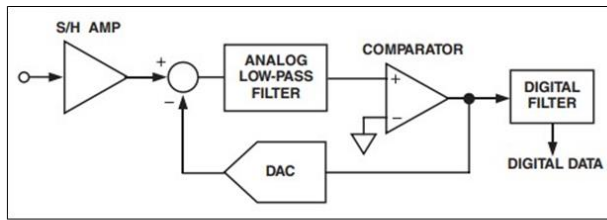


Figura 4. Structura internă a convertorului AD7701

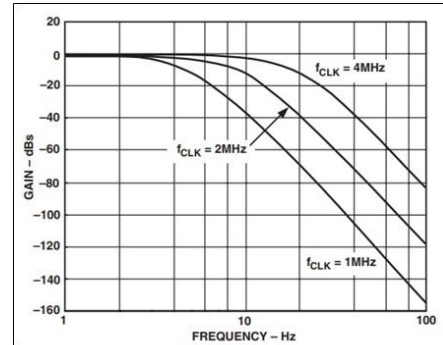


Figura 5. Răspunsul în frecvență al circuitului AD7701

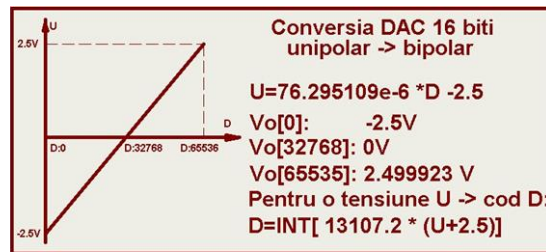


Figura 6. Conversia tensiunii generate de către circuitul DAC în regim unipolar în tensiune bipolară la ieșirea U1 (AD8276)

c. Amplificatorul diferențial de tip electrometru - permite monitorizarea cu precizie a potențialului dintre electrodul de referință (RE) și electrodul de lucru (WE), prin închiderea buclei de măsură la nivelul circuitului sumator amplasat înaintea electrodului (CE). Schema modulului amplificator diferențial este prezentată în Figura 7.

Baza modulului amplificator utilizează un amplificator diferențial de precizie de tip AD8276 (U13), cu amplificare unitară având la ambele intrări conectate câte un amplificator diferențial OPA145. Cele două amplificatoare diferențiale U12, respectiv U11 sunt folosite în configurație de repetor de tensiune cu scopul de a crește impedanța de intrare a amplificatorului diferențial U13 de la valoarea de $40\text{K}\Omega$ la o valoare

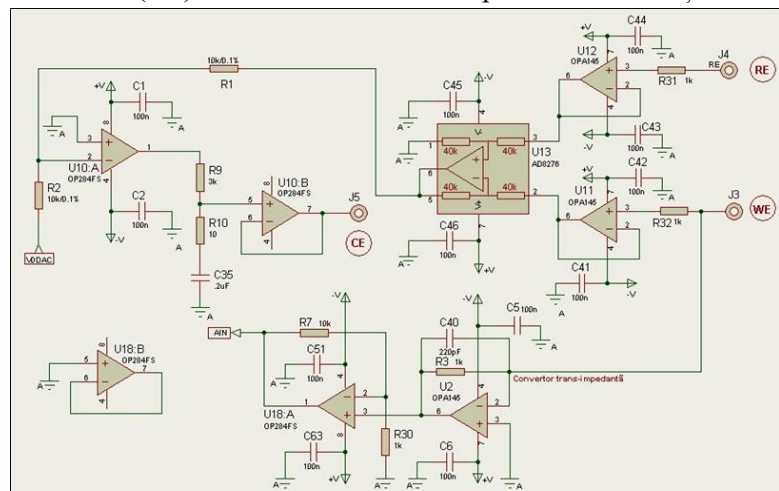


Figura 7. Schema modulului amplificator diferențial

potrivită pentru interfațarea senzorului interdigitizat. Configurația de repetor de tensiune asigură o impedanță de intrare de $10^{13} \Omega$. Amplificarea globală a circuitului echivalent electrometru este dată de circuitul U10:A de tip OP284FS utilizat ca și un amplificator sumator cu buclă deschisă în schema electronică din Figura 7. Amplificarea modulului diferențial se autoreglează astfel încât să fie îndeplinită condiția de lucru în regim de potențostat, adică potențialul generat la ieșirea circuitului U1 (V0DAC) să producă un un curent între electrozii CE și WE astfel încât tensiunea la ieșirea CE să fie egală cu diferența de tensiune dintre electrozii RE respectiv WE. Compensarea antirezonanță a circuitului de amplificare este realizată prin utilizarea unei constante de timp definită de valoarea rezistenței R10 respectiv a condensatorului C35.

Pentru ca un sistem automat să fie stabil (în cazul nostru amplificatorul cu buclă deschisă (U10 din Figura 8), este necesar și suficient ca toți polii funcției de transfer să fie localizați în semiplanul stâng al planului complex s , sau mai specific pentru ecuația (2); stabilitatea amplificatorului trans-impedanță se degradează dacă f_p cade înafara curbei de amplificare în buclă deschisă. Astfel conform ecuației amplificatorul trans-impedanță devine un sistem instabil unde oscilațiile pot să fie triggerate de creșterea zgomotului exact datorită impedanței R_e relativ ridicate a circuitului de intrare. În concluzie, analiza funcției de transfer a indicat necesitatea de a introduce două etaje de amplificare, unul (U2) pentru conversia curent-tensiune iar al doilea etaj (U18:A) pentru a sigura câștigul în tensiune necesar la intrarea circuitului ADC, AD7701 (U6 – Figura 2).

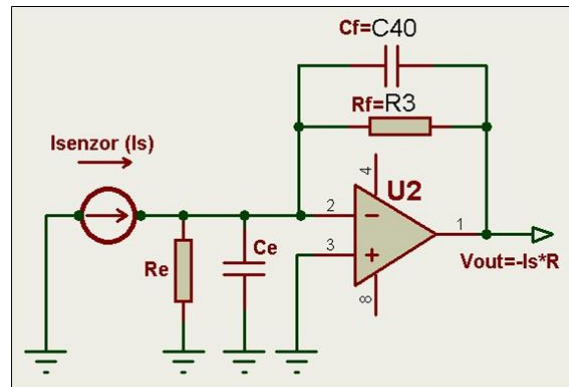


Figura 8. Schema echivalentă a amplificatorului de trans-impedanță

d. Baterie miniatură de tip Li-Po având capacitatea de 350mAh - Dispozitivul este alimentat din tensiunea furnizată de către o baterie miniatură de tip Li-Po având capacitatea de 350mAh. Încărcarea baterie se face într-un regim de siguranță maximă prin limitarea curentului de încărcare al bateriei la maximum 80mA în curent constant. Având în vedere un consumul total al dispozitivului de măsură de 250mA, se asigură o autonomie de funcționare la regim de numai pe baterie, de peste 1 oră. Având în vedere faptul că un ciclu de măsurare dureaza cel mult 5 minute autonomia de lucru permite 18 măsurători în regim portabil. Schema electronică a sursei de alimentare controlată este prezentată în Figura 9. Funcționarea dispozitivului de măsură în mod bipolar, impune utilizarea unei surse auxiliare de tensiune (PS1) în regim de comutație. Sursa auxiliară asigură alimentarea cu tensiunile de $\pm 15V$. Datorită riplului generat se impune rejecția zgomotului pentru alimentarea circuitului ADC, care se realizează prin introducerea suplimentară a câte unei surse de alimentare cu regim de funcționare liniară (U8 și U9). Circuitul U16 asigură controlul regimului de încărcare a bateriei care după atingerea tensiunii de 4.2V, aceasta este decuplată de la intrarea USB care se leagă la calculator. Ansamblul te tranzistoare Q1, Q3, Q4 asigură conectarea și menținerea în funcțiune a sursei în comutație U15. Sursa în comutație este de tip Boost, aceasta ridică tensiunea de intrare a bateriei având tensiunea în domeniul de 2.8÷4.2V, la o tensiune fixă de 5V.

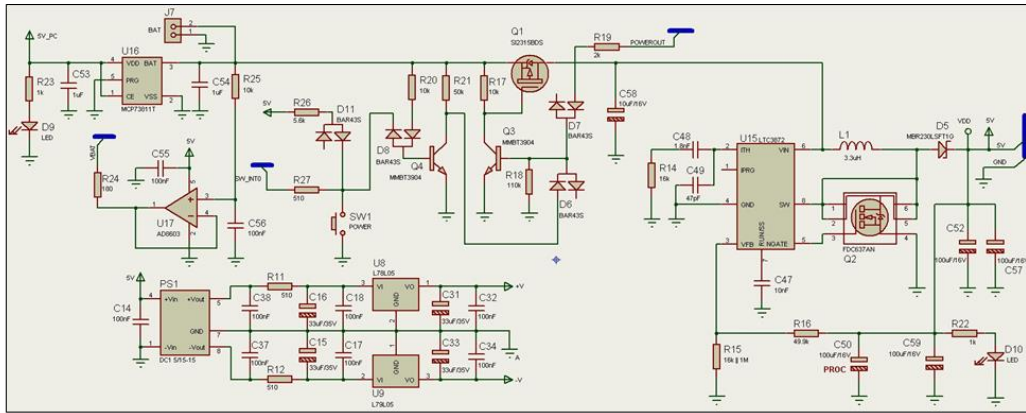


Figura 9. Schema electronică a sursei de alimentare controlată de microcontroler

2. Placa electronică pentru controlul afișajului color de tip DEM240320 (A-TOUCH)

Dispozitivul realizat utilizează un afișaj color cu rezoluția de 320x240 de pixeli. Pentru adresarea afișajului portul de acces este configurat software pentru transferul datelor pe 16 biți în format RGB565. Pentru a simplifica accesul la circuitul afișajului, din punct de vedere hardware, s-a optat pentru utilizarea unui port paralel pe 8 biți. Schema electronică a circuitului de afișare este prezentată în Figura 10.

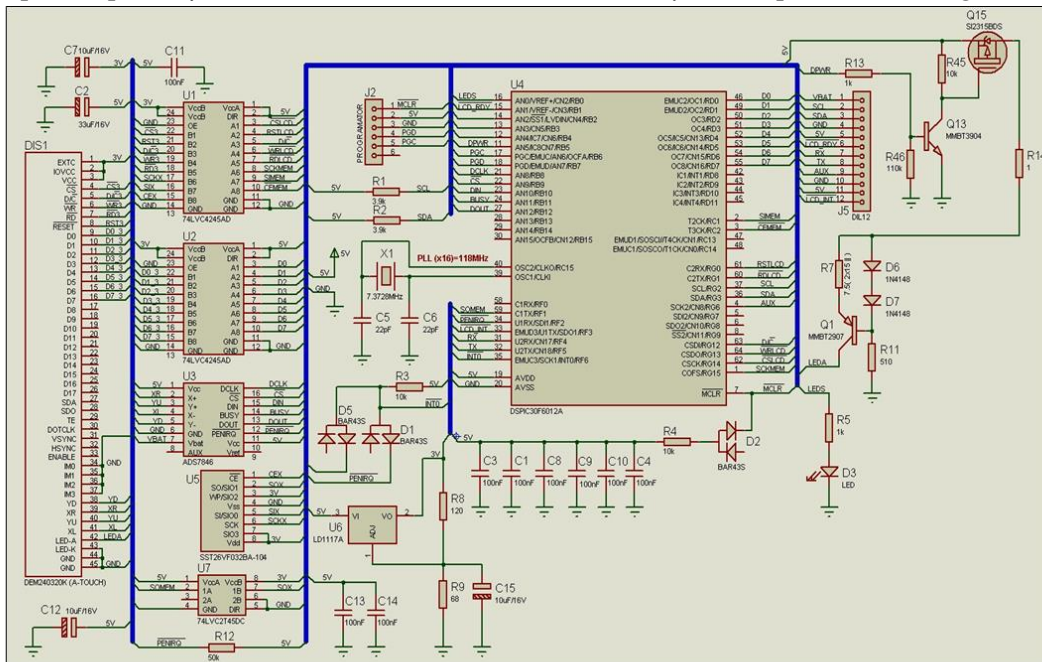


Figura 10. Modulul hardware pentru controlul circuitului de afișare DEM240320 (A-TOUCH)

Accesarea memoriei interne a circuitului DEM240320 impune maparea unui număr de 76800 pixeli fiecare având cei 3 parametri de culoare RGB. În această situație se impune utilizarea unui microcontroler de mare viteză pentru a scădea timpul de latență la afișare. S-a folosit un microcontroler cu viteza de 118MHz având arhitectură pe 16 biți (dsPIC30F6012A). Modulul de afișare este complex deoarece necesită utilizarea unui număr de circuite auxiliare:

- circuitul de alimentare al afișajului care necesită tensiunea de 3V (U6 ajustabil).
- circuitele de mare viteză U1 și U2 (74LVC4245AD) pentru efectuarea conversiei nivelurilor de tensiune de la 5V la 3V
- circuitul de pornire al LED-urilor și pentru reglarea luminozității alcătuit din Q15, Q13

- generatorul de curent constant pentru controlul curentului prin LED-urile afișorului
- circuitul pentru calibrarea și controlul ecranului tactil, U3 (ADS7846)
- circuitul U5 (SST26VFO32BA) care este o memorie de tip FLASH utilizată pentru stocarea elementelor de grafică
- circuitul U7 (74LVCM2T45DC) pentru efectuarea conversiei de nivel de la 3V la 5V către microcontrolerul de control

3. Proiectul cablajelor imprimate PCB dublu strat

Tehnologia litografierii la cald prin transpunerea unui print laser pe suprafața de Cu a plăcii permite obținerea de cablaje imprimate PCB pentru plantarea componentelor de tip SMD, având precizie suficientă de ridicată chiar și pentru unele tehnologii de tip BGA, adică în cazul unui spațiu între trasee de 0.15mm. Experiența INCDTIM arată faptul că aceste cablaje realizate în condiții de laborator pot fi transferate pentru producția în serie prin exportul fișierelor Gerber 274X generate de către mediul de programare Labcenter Proteus. Astfel că nu este nevoie de reproiectarea cablajelor imprimate la trecerea către un nivel TRL superior. Realizarea practică a cablajului imprimat prin metoda litografierii la cald pentru acest modul, a necesitat calibrarea fizică a imprimantei laser deoarece rezoluția de printare (600dpi) a îngreunat printarea traseelor cu grosimea de 0.2mm necesare pentru conectorul afișajului. Cablajele imprimate sunt prezentate pe câte un strat în parte, deoarece ambele fețe cuprind componente SMD cu distribuția meselor electrice. Masa electrică de măsurare (analog ground) este izolată de masa electrică digitală, conexiunea dintre acestea este făcută în unele locuri prin trecerea de la un strat la celălalt. Separarea celor două mese a fost impusă deoarece zgomotul electric produs de către cele două surse în comutație pot să afecteze calitatea semnalului achiziționat. Cablajul imprimat pentru modulul de achiziție, fața cu componente (roșu) este prezentat în Figura 11.

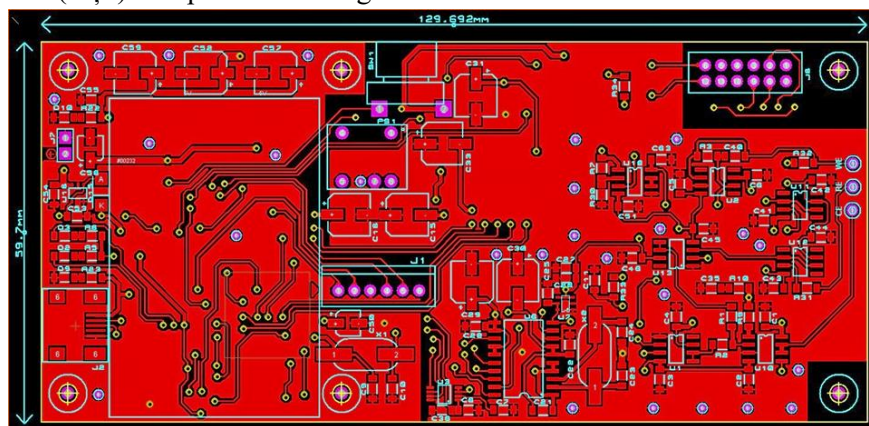


Figura 11. Modul de achiziție semnal, fața cu componente (A)

De asemenea, circuitul modulului de achiziție pentru fața cu lipituri (B) este prezentată în Figura 12. Se poate observa distribuția circuitului de control pe ambele fețe ale circuitului PCB. Acest mod de proiectare a facilitat inserarea bateriei Li-Po pe aceeași suprafață a cablajului fără să necesite alocarea unui spațiu special de utilizare. Butonul SW1 amplasat în partea de sus a cablajului (în lateral în cazul vederii de sus a plăcii) asigură prin apăsarea scurtă pornirea dispozitivului de măsurare. Oprirea aparatului se face în mod automat dacă acesta nu este folosit timp de 10 minute sau prin apăsarea butonului virtual OFF de pe ecranul tactil. Circuitul de control al încărcării bateriei, separă curentul de încărcare de curentul absorbit de sistemul de măsurare, astfel că se poate menține în permanență conectat cablul USB la calculatorul PC. Acest lucru este chiar necesar deoarece după listarea în software a interfeței USB, dacă aceasta se deconectează atunci se impune repornirea aplicației PC respectiv a dispozitivului de măsurare.

Se poate observa în partea centrală respectiv în stânga Figurii 12, o amplasare specială (întreruptă) a mesei analogice. Acest lucru este impus pentru evitarea cuplajelor capacitive de sub sursa în comutație, respectiv a cuplajelor capacitive de zgomot de la intrarea electrozilor de măsură. Astfel, chiar dacă masa electrică a sursei în comutație este legată la punctul de masă analogică, din punctul de vedere al generării zgomotului, sursa de alimentare diferențială necesară pentru convertorul ADC este considerată ca fiind un modul digital. Modulul de afișare care este și ecran tactil este prezentat în același mod prin separarea celor două fețe. Acest modul a impus proiectarea unei plăci auxiliare necesare pentru programarea circuitului de memorie FLASH. De asemenea realizarea elementelor grafice a fost făcută prin scrierea unui program auxiliar capabil să facă conversia RGB24 din standardul Windows, în format RGB565 necesar pentru controlul afișajului DEM240320 (A-TOUCH).

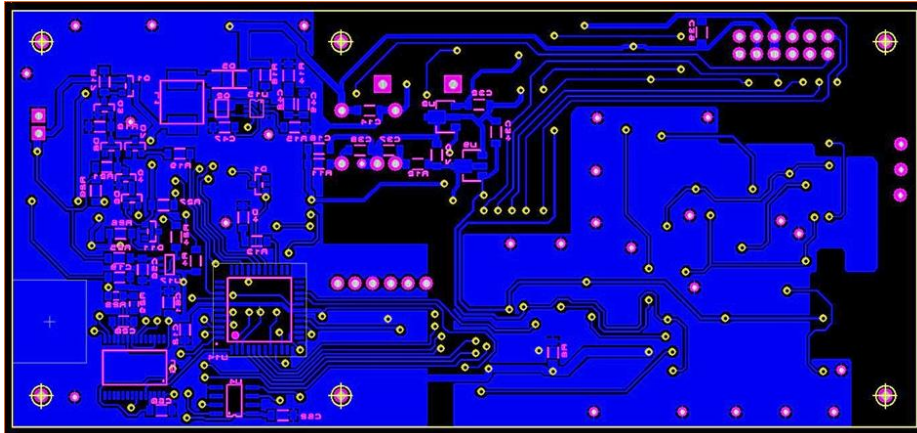


Figura 12. Modul de achiziție semnal, fața cu lipituri (B)

Figurile 13 și 14 prezintă cele două fețe de cablaj ale modulului hardware pentru afișaj.

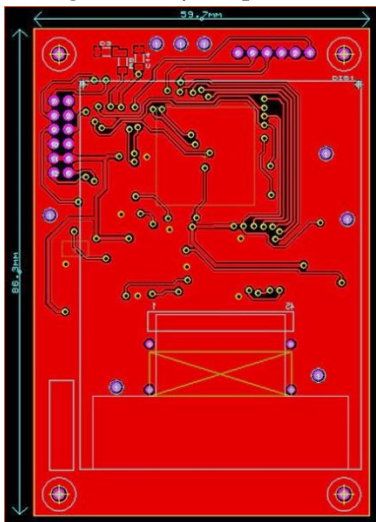


Figura 13. Modul afișare fața (A)

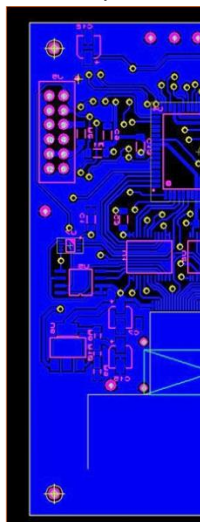


Figura 14. Modul

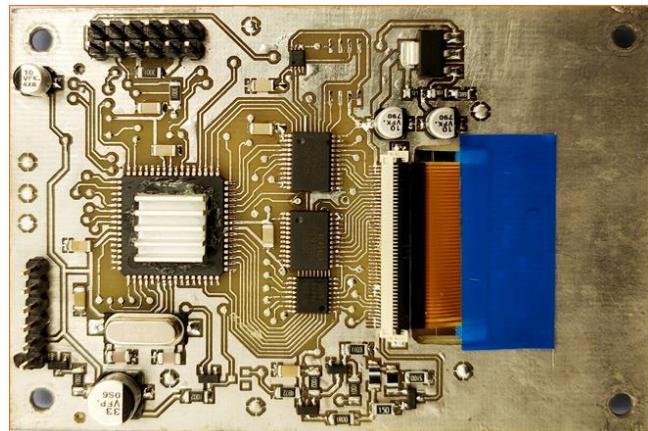


Figura 15. Placa funcțională a afișajului

Forma finală și realizată a feței cu componente a modulului de afișare este prezentată în Figura 15. Fața cu afișajul se va putea observa în figura care prezintă elementele hardware componente ale sistem de măsurare. Conexiunea dintre placă și afișaj este realizată printr-un cablu tip panglică și un conector special având pasul de pin la 0.5mm. Decupajul acoperit cu bandă albastră asigură trecerea între cele două fețe ale cablajului imprimat. Pentru a se putea utiliza întreaga putere de calcul furnizată de microcontrolerul dsPIC30F6012A, a fost montat un mic radiator de Al care să disipe căldura inerentă

datorită unui consum de 0.5W disipați într-o construcție de tip sandwich. Eliminarea timpilor de latență a impus ridicarea ceasului de sistem al microcontrolerului la frecvența maximă de 118MHz.

Activitatea 3.2. Dezvoltare de software si hardware; asamblarea modelului experimental

Din punctul de vedere al structurii elementelor software, dispozitivul realizat cuprinde trei module software distribuite la nivelul plăcii de achiziție a datelor, a modulului de afișare a comenzilor dispozitivului, cât și la nivelul calculatorului PC unde se afișează în mod grafic rezultatul măsurării concentrației. Prezentarea în detaliu a sistemului hardware are la bază schema electronică proiectată și prezentată în raportul precedent. Elementele hardware componente ale dispozitivului de măsurare sunt prezentate în Figura 16. Sistemul nu prezintă soclul necesar conectării sensorului interdigitizat. Această componentă este prezentată în Figura 17 împreună cu toate elementele funcționale. Semnificația elementelor grafice afișate este prezentată în Figura 18.

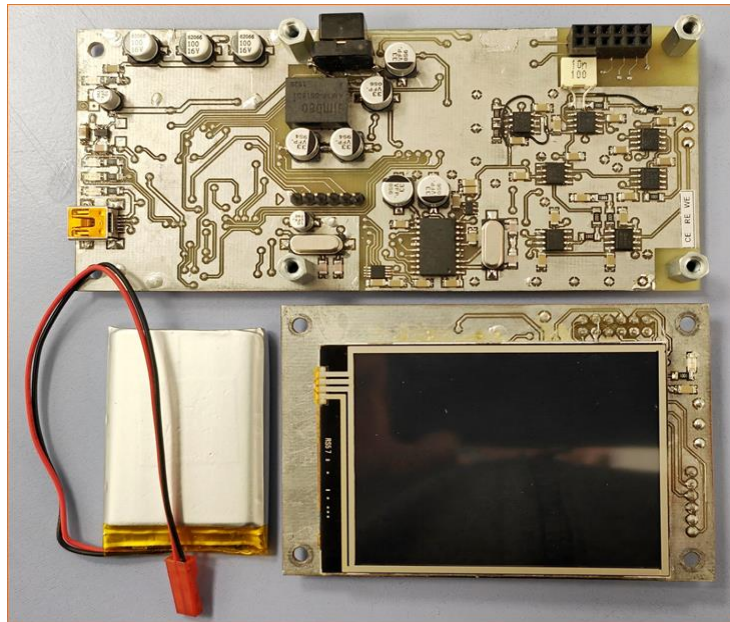


Figura 16. Elementele hardware componente ale dispozitivului de măsurare

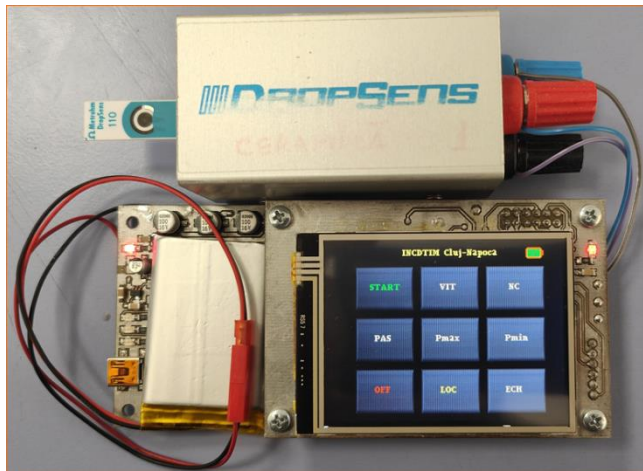


Figura 17. Dispozitivul de măsurare funcțional

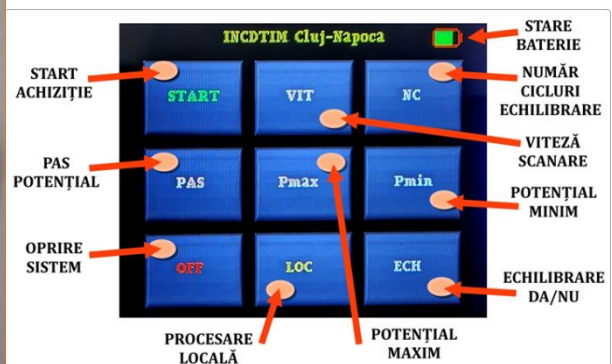


Figura 18. Semnificația elementelor grafice afișate

Butoanele virtuale afișate sunt acționabile prin atingerea afișajului pe suprafețele desemnate pentru fiecare buton activat. Butoanele afișate sunt dublate în aplicația de PC și sunt folosite doar în situația în care se impune un control local al dispozitivului de măsurare. Lista cu aceste butoane definesc următoarele comenzi:

START	<i>începerea procesului de achiziție a punctelor de măsurare între extremele de potențial programate</i>
VIT	<i>programarea vitezei de scanare</i>
NC	<i>programarea numărului de cicluri de echilibrare a senzorului</i>
PAS	<i>programarea pasului de potențial între între extremele de potențial programate</i>
Pmax	<i>programarea potențialului maxim</i>
Pmin	<i>programarea potențialului minim</i>
OFF	<i>oprirea manuală a dispozitivului de măsurare</i>
LOC	<i>procesarea locală sau la nivelul PC a datelor achiziționate</i>
ECH	<i>validarea / invalidarea secvenței de echilibrare a senzorului</i>

De asemenea se afișează starea de încărcare a bateriei în oricare din modurile de lucru PC sau local. Variația procentuală a gradului de încărcare este indicată prin schimbarea culorii afișate la nivelul minibateriei afișate. Pentru păstrarea unui aspect realist al butoanelor virtuale, acestea sunt stocate în format grafic și nu sunt generate artificial cu elemente geometrice. Generarea butoanelor se face prin programarea software a parametrilor de poziție, dimensiune, culoare fond, text și poziție text.

a. Programul aplicației la nivelul calculatorului PC

Aplicația (API) a fost scrisă pentru platforma LabView pentru care licența deținută de către INCDTIM permite generarea unui proiect de tip executabil (.exe). Astfel modulele realizate sunt prezentate în câte o figură deoarece mediul de programare este de tip G (grafic). Pentru început Figura 19 prezintă panoul frontal al aplicației care afișează rezultatul unei măsurători. Spre deosebire de modul portabil de lucru a dispozitivului de măsurare, modul PC permite stocarea datelor sub formă grafică cât și sub formă de text cu valori numerice pentru postprocesări ulterioare achiziției. Algoritmul implementat permite detecția automată a amplitudinii peak-ului rezultat în urma achiziției datelor culese de la senzor. Astfel Figura 19 prezintă ecuația dreptei determinată de intervalul dintre valorile de prag reprezentate de punctele de inflexiune, dreaptă care se intersectează cu verticala care pornește de la valoarea de vârf. În cazul prezentat amplitudinea peak-ului are valoarea de $1.62\mu\text{V}$, valoare care se compară cu un tabel stocat acesta fiind rezultat din curbele de calibrare determinate experimental. Diagrama bloc principală care cuprinde toate modulele vi (Virtual instrument) este prezentată în Figura 20.

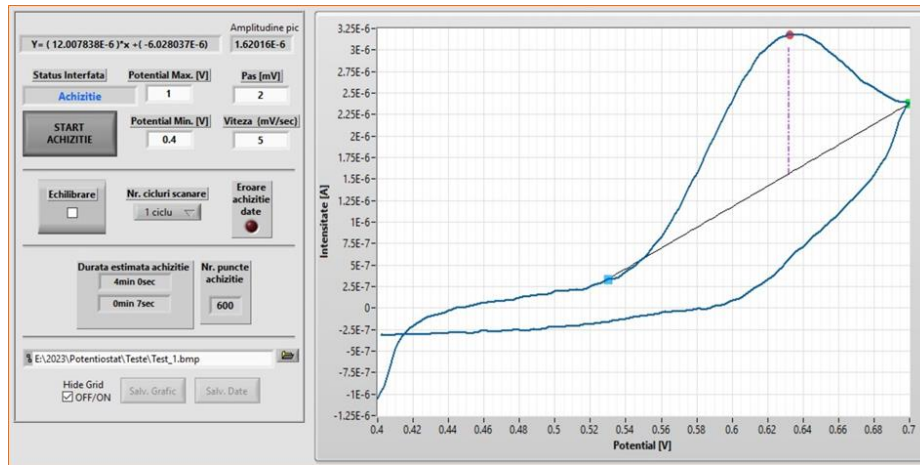


Figura 19. Panoul frontal al aplicației API

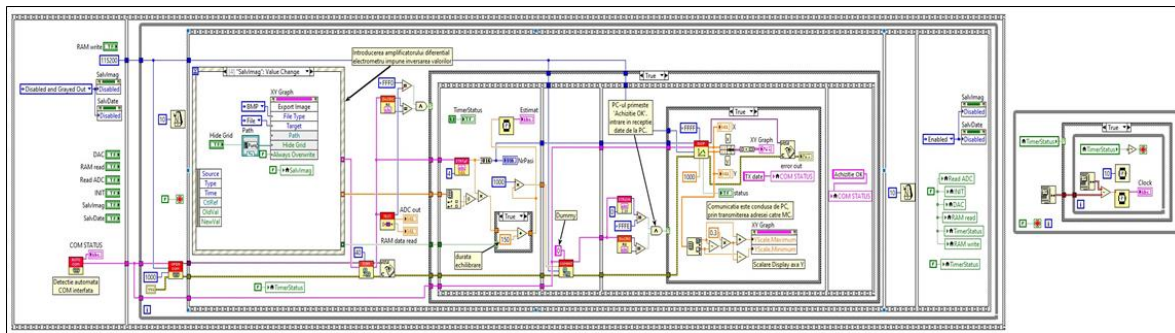


Figura 20. Diagrama bloc principală a aplicației API

Complexitatea ridicată a diagramei principale, impune parcurgerea pe module componente a întreg sistemului de achiziție. După cum am menționat în cele prezentate până în acest punct, aplicația este capabilă să determine portul COM alocat comunicației cu sistemul hardware anterior descris. Astfel modulul pentru detecția automată este prezentat în Figura 21.

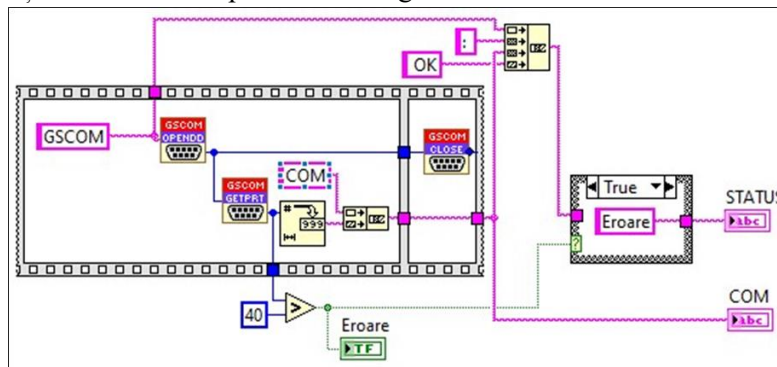


Figura 21. Modulul pentru detecția automată a portului de comunicație

Submodulul GSCOM.vi integrează un fișier de tip.dll (Dynamic link library) pus la dispoziție de către firma Future Technology Devices International Ltd., producătorul circuitului FT232RL. Circuitul FT232RL trebuie programat în prealabil după montarea pe placa PCB a sistemului de achiziție. Astfel pentru cazul prezentat descriptorul va fi denumit GSCOM și se introduce în modulul software API după cum se observă în Figura 21. Gestionarea fluxului de date este efectuată prin modulul prezentat în Figura

22. Afișarea graficului final după achiziția datelor se face cu ajutorul modulului de afișare prezentat în Figura 23.

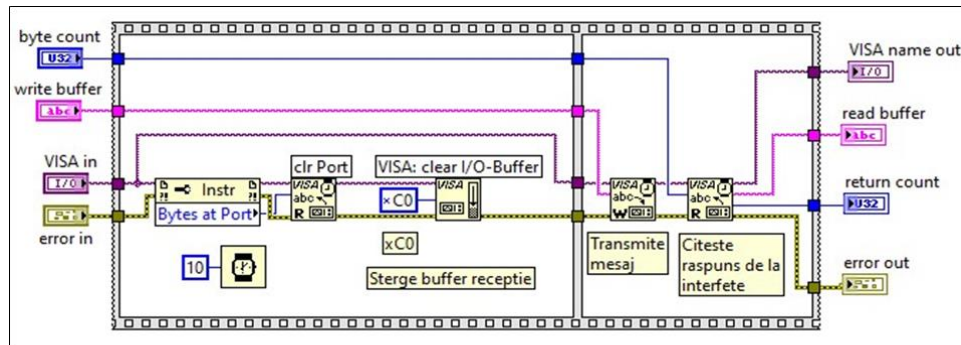


Figura 22. Modul vi pentru gestiunea fluxului de date prin COMx

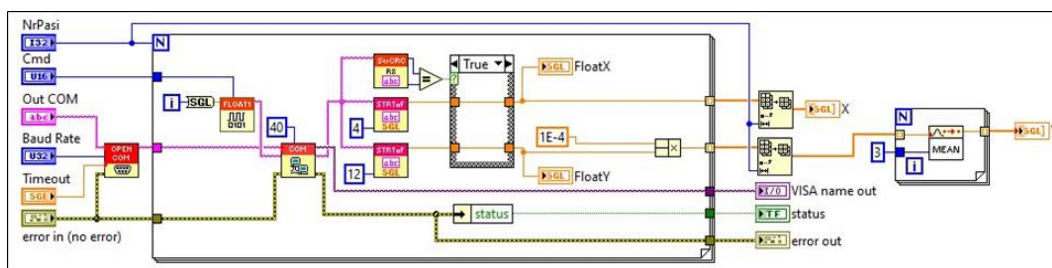


Figura 23. Modul sub vi pentru afișarea grafică a datelor

Datele trimise de către microcontrolerul de pe placa de achiziție sunt transmise în format simplă precizie pe 32 de biți conform standardului IEEE754. Acest mod de stocare și transmisie a datelor permite utilizarea valorilor numerice fără a pierde rezoluția numerică inerentă în cazul unor eventuale conversii. De asemenea răspunsul aplicației API este întors folosind același mod de reprezentare a datelor. Transmiterea datelor se face într-o structură de date ASCII care impune conversia unui string ASCII în valoare numerică reprezentată binar pe 32 de biți, respectiv invers. Modulul de conversie din valoare flotantă într-un string ASCII este prezentat în Figura 24.

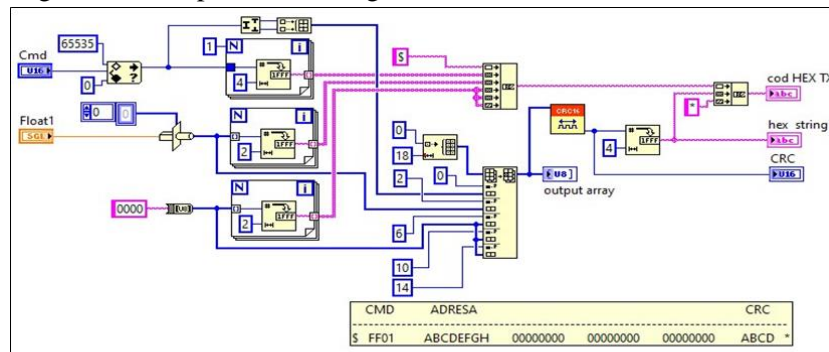


Figura 24. Modul vi de conversie float32 în ASCII

Validarea pentru integritatea datelor la recepție respectiv transmisie este făcută prin implementarea calculului CRC16. După conversia în reprezentare ASCII, valoarea rezultată este concatenată cu restul string-ului care urmează a fi transmis. Acest mod de lucru este identic atât la nivelul aplicației API cât și la nivelul microcontrolerului. Algoritmul care asigură identificarea maximului și măsurarea valorii acestuia este prezentat în Figura 25. Acesta permite suprascrierea graficului cu punctele de inflexiune, cât și a valorii de vârf determinate prin calcul.

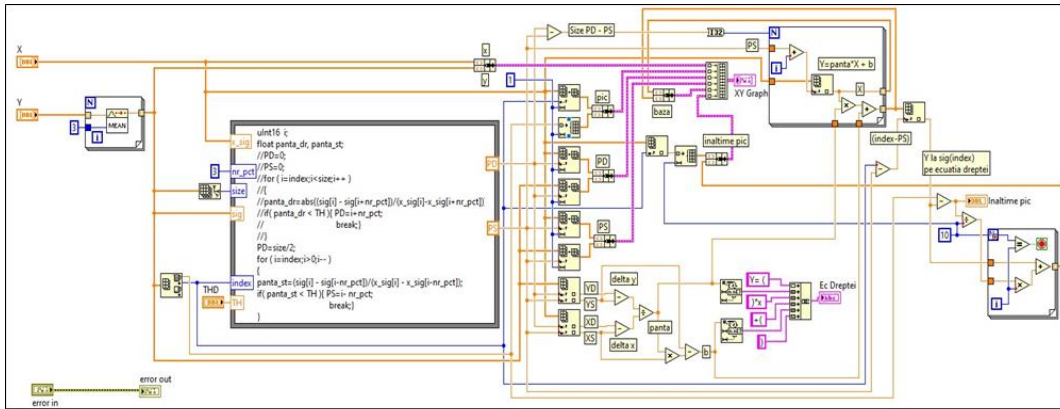


Figura 25. Modul vi pentru procesarea peak-ului

b. Programul implementat la nivelul microcontrolerelor

Datorită complexității ridicare a funcției de calibrare a afișajului tactil, se prezintă procedura matematică utilizată care este la nivel de calcul matriceal. Având în vedere numărul mare de linii de cod al celor două programe integrate la nivelul microcontrolerelor dsPIC336012A cât și PIC18F46K22, programele sursă elaborate în limbaj C vor fi prezentate în ANEXELE 1 respectiv 2 cu menționarea listei de funcții. Corelarea poziției în coordonate a pixelilor afișajului, cu pozițiile determinate prin achiziția celor 3 puncte după procesarea datelor obținute de la circuitul ADS7846 impune construcția unui algoritm complex de translație geometrică a unui set de coordonate în plan. Astfel calibrarea ecranului tactil se constituie într-un algoritm clasic în 3 puncte în coordonatele X și Y pentru fiecare punct.

Dezvoltarea algoritmului și identificarea soluției pentru determinarea coeficienților de corecție se găsește în anexele atașate care cuprind toate rutinele utilizate împreună cu comentariile necesare pentru înțelegerea structurii și a modului de funcționare a programului. Elemente suplimentare de matematica polinoamelor aplicată în algoritmi, se identifică în calculul valorii CRC16 (Cyclic Redundancy Check) necesar pentru validarea integrității prin detecția erorilor în datele transmise între sistemul de achiziție și calculatorul PC. Figura 26 prezintă algoritmul de calcul pentru varianta integrată în microcontroler cât și la nivelul aplicației API.

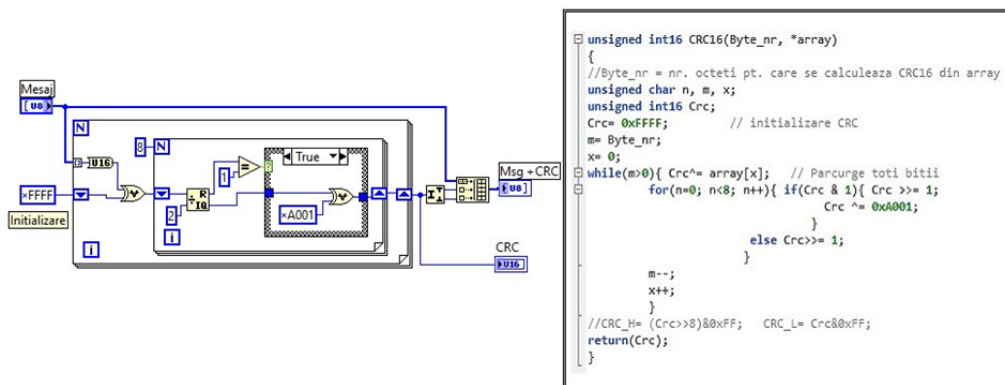


Figura 26. Algoritmul de calcul al redundanței ciclice pe 16 biți CRC16

Rutinele de program sunt originale INCDTIM și nu utilizează biblioteci externe. Denumirea celor 96 de funcții implementate și utilizate pentru programarea celor două microcontrolere este prezentată în LISTELE 1 ÷ 5. Listele nu cuprind programele auxiliare pentru generarea elementelor grafice respectiv conversia fișierelor din formatul standard RGB24 în formatul RGB565.

- TX(ub1 sel,ub2 nroct)
- VAL_2_ASCII(ub1 c)
- Numeric16_2_ASCII(ub2 val)
- IEEE_2_ASCII(ub4 val)
- ASCII_2_VAL8("array, ub1 index_oct)
- ArrayDecode("arrayin)
- CRC16(ub1 Byte_nr, *array)
- Raspuns1Float(ub2 val)
- RAM_data_Write(ub4 addr, ub1 dat)
- RAM_data_Read(ub4 addr)
- READ_FLOAT_RAM(ub4 n)
- WRITE_FLOAT_RAM(ub4 n, f32 data)
- Read_ADC_float(void)
- write_DAC(ub2 dat)
- SCAN(ub1 k)
- CalculParametrii(void)
- Echilibrare(void)
- WRITE_MODE_RAM(ub1 dat)
- Generare_xIEEE("array, ub1 index_oct)
- cleanRXbuffer(ub1 k)
- readRS232(ub1 sel)
- bit_test(PIR1,5)
- ASCII_2_VAL16("array, ub1 index_oct)
- f_PICtoIEEE(f32 f)
- f_IIIEtoPIC(ub4 f)
- RaspunsCmd(ub2 val)
- DecoderHeaderRX(void)
- system_ini(void)
- main(void)

LISTA 1

- send_byte
- get_byte
- read_status_register
- read_configuration_register
- WREN
- WRDI
- JEDEC_ID_read
- read_one_address
- imagine
- Page_Program
- Chip_Erase
- Sector_Erase
- Block_Erase
- ResetEn
- Reset
- ReadBlockProtection
- WriteBlockProtection
- Global_Block_Protection_Unlock
- Wait_Busy
- Write_Status_Register

LISTA 3

- ADS7846_Read
- Touch_Screen_Scan
- dsPIC_write_float32_EEPROM
- dsPIC_read_float32_EEPROM
- screen_calibration
- write_Calibration_coef
- read_Calibration_coef
- input_touch2float
- semnalizare_calibrare
- calibration_loop
- touch_calibration

LISTA 4

- ADS7846_Read
- Touch_Screen_Scan
- dsPIC_write_float32_EEPROM
- dsPIC_read_float32_EEPROM
- screen_calibration
- write_Calibration_coef
- read_Calibration_coef
- input_touch2float
- semnalizare_calibrare
- calibration_loop
- touch_calibration

LISTA 2

- comanda(DIGIT_T comanda)
- data_in(DIGIT_T data)
- data_in_culoare(ub2 culoare)
- adresa(DIGIT_T temp_x,DIGIT_T temp_y)
- initializare_LCD(void)
- fill_sector(DIGIT_T_x,DIGIT_T_y,DIGIT_T_nrLinii, ub2 culoare)
- chr(char val, ub2 fond, ub2 culoare, DIGIT_T height)
- bit_test(data,31)
- TextSelList(void)
- imagine(DIGIT_T_xPos, DIGIT_T_yPos, DIGIT_T_xDim, DIGIT_T_yDim, DIGIT_T selector)
- fill_x_y_sector(DIGIT_T_x, DIGIT_T_y, DIGIT_T_nrLinii, DIGIT_T_nrCol, ub2 culoare)
- baterie(DIGIT_T_x,DIGIT_T_y)
- TextB(DIGIT_T x, DIGIT_T y, ub2 fond, ub2 culoare, DIGIT_T hset, DIGIT_T val)
- ClockText(DIGIT_T x, DIGIT_T y, DIGIT_T val)
- clock_state(void)
- clock(void)
- write_int16_eeprom(INT_EEPROM_ADDRESS address, int16 dataEEPROM)
- read_int16_eeprom(INT_EEPROM_ADDRESS address)

LISTA 5

Activitatea 3.3. Testarea noului sistem de detecție electrochimică PORTA-SYD în condiții de laborator

În cadrul acestei activități s-au efectuat diverse experimente prin care s-au testat capacitățile de măsură ale prototipului dezvoltat în detectia selectivă a colorantului alimentar SY. Un pas important în stabilirea protocolului de măsură l-a jucat testarea linearității semnalului obținut. Pentru a determina performanța sistemului și pentru o cât mai bună optimizare și filtrare a semnalului s-au efectuat mai multe testări în care, partea de senzor a fost înlocuită cu rezistențe de diferite valori (vezi Figura 27)

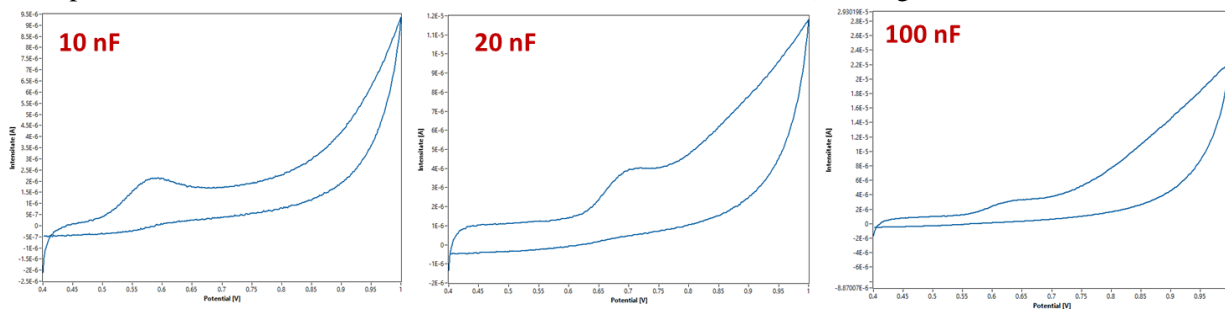


Figura 27. Evoluția semnalului obținut în cazul folosirii unor rezistențe de capacități diferite

Totodată s-a urmărit optimizarea linearității semnalului după cum se poate observa din Figura 28

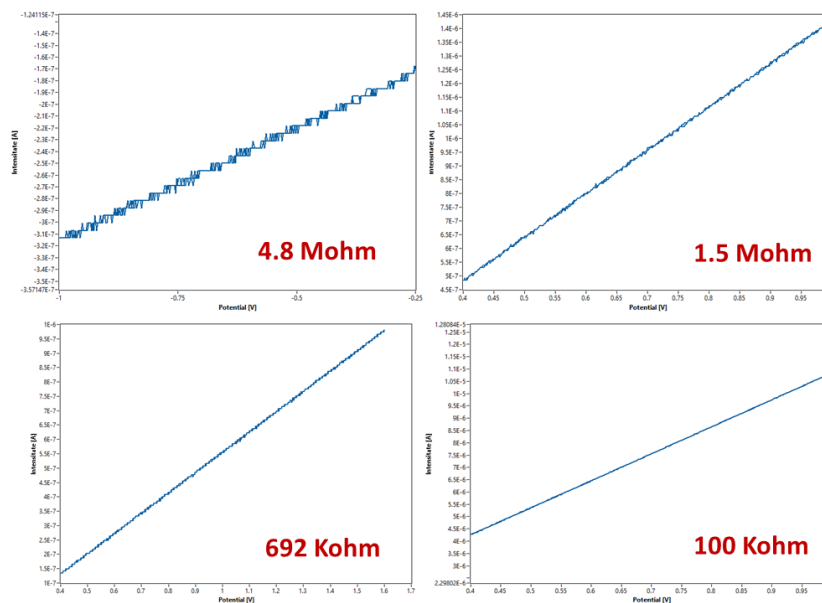


Figura 28. Optimizarea linearitatii semnalului masurat

Odata cu stabilirea performantelor prototipului s-au putut efectua si primele masuratori in solutii standard, continand diferite concentratii de colorant alimentar SY(Figura 29). Dupa cum era de asteptat, odata cu cresterea concentratiei analitului din solutia supusa analizei are loc si o intensificare a semnalului inregistrat. Pentru a demonstra reproductibilitatea masuratorilor sau efectuat experimente replicate, pe aceleasi solutii, folosind fie acelasi electrod modificat, fie electrozi diferiti. S-a observat ca variatia de semnal obtinuta prezinta o marja de eroare acceptabila, care nu depaseste 10-12%. Astfel s-a demonstrat functionalitatea prototipului PORTA-SYD la nivel de laborator.

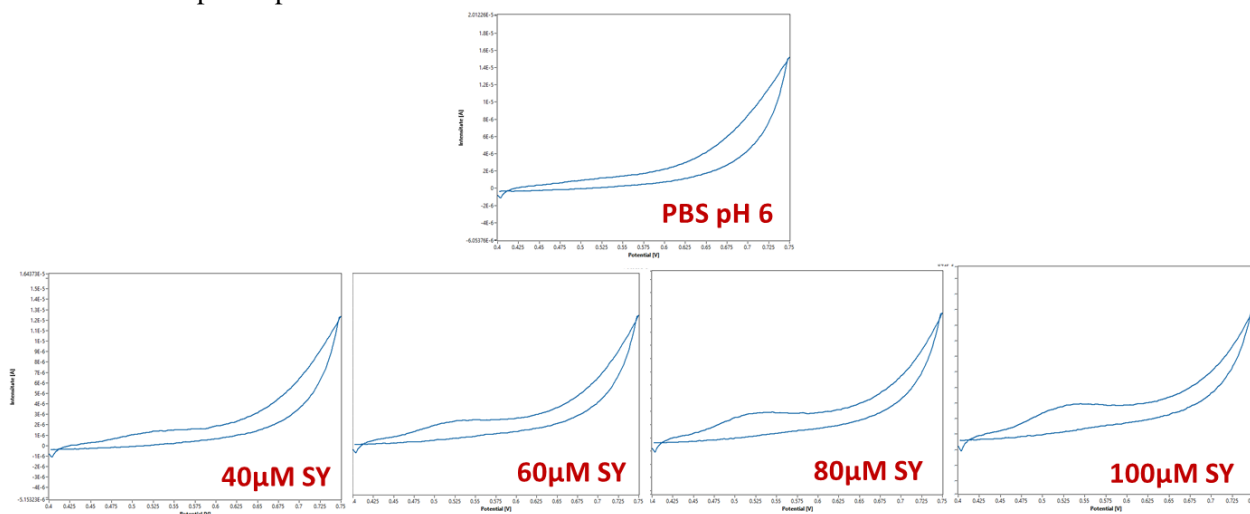


Figura 29. Evolutia semnalului obtinut in solutii standard continand concentratii diferite de SY

Activitatea 3.4. Validarea eficientei sistemului integrat portabil dezvoltat în probe reale

Pentru a valida eficienta tehnologiei dezvoltate de detectie electrochimica a colorantului alimentar SY, prototipul PORTA-SYD a fost utilizat in cuantificarea acestui aditiv din diverse esantioane de probe reale

(băuturi carbogazoase cu aroma de portocale, acadele, jeleuri gumate, diverse formulări farmaceutice) – Figura 30.

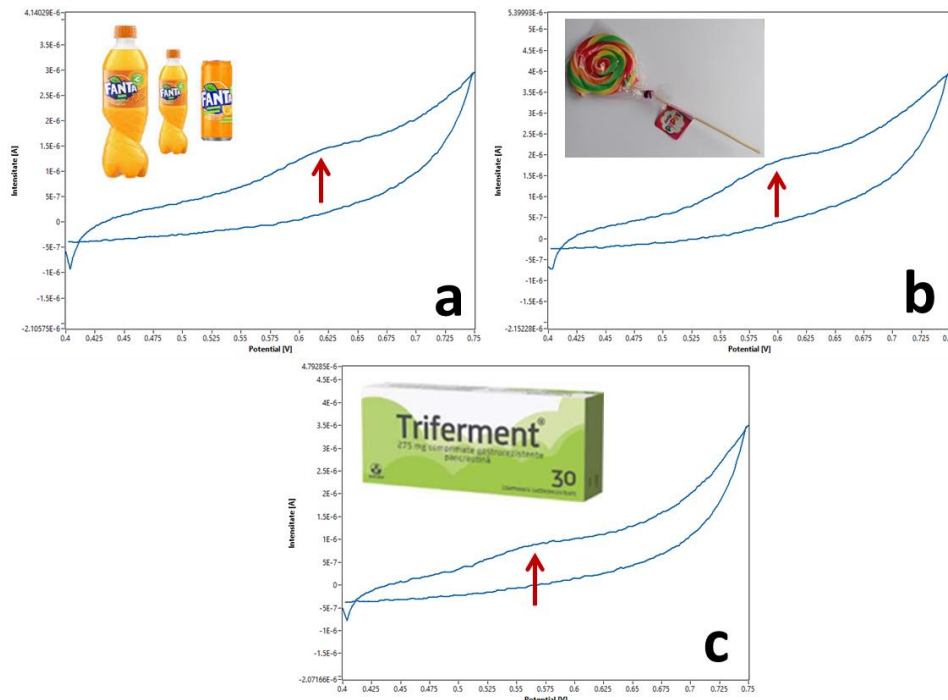


Figura 30. Detectia SY in diferite esantioane de probe reale cu ajutorul prototipului PORTA-SYD

Măsurătorile au demonstrat faptul ca funcționalitatea dispozitivului de detecție nu este afectata in prezenta matricilor complexe. Rezultatele astfel obținute constituie o dovada clara a robusteții sistemului fabricat si atestă faptul că acest dispozitiv poate fi folosit în mod eficient in industria alimentara si farmaceutica. De asemenea, aceste rezultate indica faptul că tehnologia dezvoltata poate fi preluata de diferiți furnizori și implementată cu ușurința la nivel industrial, oferind o soluție rapida, selectiva si eficienta de detecție a SY.

CONCLUZII

În ultima etapă de implementare a proiectului PORTA-SYD, corespunzătoare perioadei ianuarie-mai 2023 s-au finalizat activitățile care vizau proiectarea, dezvoltarea si fabricarea unui prototip experimental de platforma electrochimica de detectie a colorantului alimentar Sunset Yellow. Totodata s-a testat si validat la nivel de laborator functionalitatea tehnologiei de detectie pe baza modelului experimental dezvoltat. Toate obiectivele și activitățile propuse în cadrul ETAPEI 3 de implementare a proiectului au fost îndeplinite cu succes.

REZULTATE OBTINUTE

Articole cotate ISI

- *Enhanced acetaminophen electrochemical sensing based on nitrogen-doped graphene*
Lidia Magerusan*, Florina Pogacean, Stela Pruneanu – INTERNATIONAL JOURNAL OF MOLECULAR SCIENCES 2022, 23(23):14866 (IF = 6.208)
<https://doi.org/10.3390/ijms232314866>
- *Analytical applicability of graphene modified electrode in Sunset Yellow electrochemical assay*

Lidia Măgerușan*, Florina Pogăcean, Bogdan Ionut Cozar, Stela Pruneanu – SENSORS 2023, 23, 2160 (IF = 3.847)

<https://doi.org/10.3390/s23042160>

- *Antibacterial Enhancement of High-Efficiency Particulate Air Filters Modified with Graphene-Silver Hybrid Material*
Alexandra Ciorita, Maria Suciu, Maria Coros, Codruta Varodi, Florina Pogacean, Lidia Magerusan, Valentin Mirel, Raluca-Ioana Stefan-van Staden, Stela Pruneanu – MICROORGANISMS 2023, 11(3):745 (IF = 4.926)
<https://doi.org/10.3390/microorganisms11030745>
- *Highly Sensitive Graphene-Based Electrochemical Sensor for Nitrite Assay in Waters*
Florina Pogacean, Codruta Varodi, Lidia Magerusan*, Stela Pruneanu - NANOMATERIALS 2023, 13(9): 1468 (IF = 5.719)
<https://doi.org/10.3390/nano13091468>
- *Enhancement of dopamine electrochemical detection with manganese doped crystalline copper oxide*
Simona Guțoiu, Florina Pogacean, Lidia Măgerușan, Maria Olimpia Miclăuș, Oana Grad, Ioan-Ovidiu Pană, Stela Pruneanu – aflat in evaluare la COATINGS (IF = 3.236)

Lucrari prezentate la Conferinte Nationale / Internationale

- *Analytical applicability of graphene modified electrode in Sunset Yellow electrochemical assay*
Lidia Magerusan, Florina Pogacean, Stela Pruneanu - poster presentation
24th INTERNATIONAL CONFERENCE - MATERIALS, METHODS & TECHNOLOGIES, 17-20 August 2023, Burgas, Bulgaria
- *Eco-friendly synthesis of sulphur-doped graphenes with applicability in gallic acid electrochemical assay from food related samples*
Lidia Magerusan, Florina Pogacean, Simona Rada, Codruta Varodi, Stela Pruneanu - poster presentation
14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON PROCESSES IN ISOTOPES AND MOLECULES (PIM 2023), 19-21 Septembrie, Cluj-Napoca, Romania
- *Enhanced Acetaminophen Electrochemical Sensing Based on Nitrogen-Doped Graphene*
Florina Pogacean, Lidia Magerusan, Codruta Varodi, Stela Pruneanu - poster presentation
14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON PROCESSES IN ISOTOPES AND MOLECULES (PIM 2023), 19-21 Septembrie, Cluj-Napoca, Romania
- *Highly Sensitive Graphene-Based Electrochemical Sensor for Nitrite Assay in Waters*
Stela Pruneanu, Florina Pogacean, Lidia Magerusan, Codruta Varodi - poster presentation
14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON PROCESSES IN ISOTOPES AND MOLECULES (PIM 2023), 19-21 Septembrie, Cluj-Napoca, Romania

Director de proiect
Dr. Lidia Magerusan