

UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI

Cu titlu de manuscris

C.Z.U.: 004.2/004.3

codul

VITALIE SECRIERU

**DISPOZITIVE ELECTRONICE ÎNCORPORATE PENTRU INDUSTRIE,
MEDICINĂ ȘI SFERĂ SOCIALĂ**

**232.01 – SISTEME DE CONDUCERE, CALCULATOARE ȘI REȚELE
INFORMAȚIONALE**

Teză de doctor în științe tehnice

Conducător științific:

Valerian Dorogan
prof. univ., dr.hab.

Consultant științific:

Sergiu Zaporozan
conf. univ., dr.

Autorul:

Secrieru Vitalie

CHIȘINĂU, 2016

©Secieru Vitalie, 2016

CUPRINS

ADNOTĂRI.....	5
LISTA ABREVIERILOR.....	8
INTRODUCERE.....	9
1. ANALIZA SITUAȚIEI ÎN DOMENIUL DISPOZITIVELOR ELECTRONICE ÎNCORPORATE.....	16
1.1 Sisteme încorporate. Generalități	16
1.1.1. Ce este un sistem încorporat	16
1.1.2. Noțiuni generale, locul și rolul sistemelor încorporate în electronica modernă	16
1.1.3. Domenii principale de aplicații al EmS.....	17
1.1.4. Direcții în dezvoltarea sistemelor încorporate.....	19
1.2. Factorii de performanță ai sistemelor încorporate	20
1.2.1. Cerințe și probleme specifice pentru aplicații cu sisteme încorporate.....	20
1.2.2. Elemente de analiză și optimizare a factorilor de performanță a EmS.....	25
1.3. Formularea problemei de cercetare.....	30
1.4. Analiza comparativă a platformelor hardware.....	32
1.4.1. Necesitatea analizei tehnologiilor disponibile	32
1.4.2. Opțiuni în alegerea platformei pentru proiectarea EmS	33
1.4.3. Familii reprezentative de microcontrolere	38
1.5. Concluzii la capitolul 1.....	42
2. ANALIZA COST-PERFORMANȚĂ ÎN SPAȚIUL DE PROIECTARE A DISPOZITIVELOR ÎNCORPORATE.....	43
2.1. Metrica calității sistemelor de calcul.....	43
2.2. Elemente de organizare și funcționare a sistemelor încorporate	45
2.2.1. Arhitectura virtuală a unui sistem încorporat	45
2.2.2. Dispozitive încorporate: abordări arhitectural-structurale	48
2.3 Analiza factorilor de cost pentru aplicații încorporate de nivel mediu	56
2.4. Cercetarea variației costurilor cablajului imprimat	63
2.5. Analiza comparată a realizărilor Hardware de alternativă	70
2.6. Concluzii la capitolul 2.....	74
3. ELABORAREA DISPOZITIVELOR ÎNCORPORATE PENTRU MEDICINĂ.....	75
3.1. Analiza calității dispozitivelor încorporate pe baza criteriului cost-performanță.....	75
3.2. Dispozitiv de înregistrare și indicare a radiației UV.....	80
3.3. Ionizatoare de aer.....	86

3.3.1. Ionizator cu trei regimuri de lucru și ajustare fină a tensiunii de ieșire.....	87
3.3.2. Ionizator cu șase regimuri de lucru și ajustare fină a tensiunii de ieșire.....	91
3.3.3. Ionizator cu nouă regimuri de lucru, alegerea individuală a parametrilor, ajustare fină a tensiunii de ieșire.....	96
3.4. Dispozitive de tratament cuantic.....	101
3.4.1. Teralaser D.....	101
3.4.2. Teralaser MF.....	108
3.5. Concluzii la capitolul 3.....	114
4. ELABORAREA DISPOZITIVELOR ELECTRONICE PENTRU INDUSTRIE ȘI SFERA SOCIALĂ.....	116
4.1. Dispozitiv de măsurare a turațiilor motoarelor pompelor electrice ermetice.....	116
4.2. Bloc de comandă și control a temperaturii pentru sisteme autonome de încălzire.....	123
4.3. Panou de indicare pentru jocul de baschet.....	128
4.4. Sistem micro-optoelectronic pentru iluminarea fațadelor.....	134
4.5. Concluzii la capitolul 4.....	140
CONCLUZII ȘI RECOMANDĂRI.....	142
BIBLIOGRAFIE.....	145
ANEXE.....	154
ANEXA 1 Schemele electrice principale ale dispozitivelor elaborate.....	154
ANEXA 2 Imaginea exterioară a dispozitivelor elaborate.....	178
ANEXA 3 Certificate de implementare a elaborărilor tehnico-științifice.....	185
DECLARAȚIA PRIVIND ASUMAREA RĂSPUNDERII.....	192
CURRICULUM VITAE.....	193

Adnotare

la teza „Dispozitive electronice încorporate pentru industrie, medicină și sferă socială” prezentată de către Secrieru Vitalie pentru conferirea gradului științific de doctor în științe tehnice, Chișinău, 2016.

Structura tezei. Teza de doctor cuprinde introducerea, patru capitole, concluzii, bibliografia cu 135 titluri, 3 anexe, 144 pagini text de bază, inclusiv 72 figuri și 5 tabele. Rezultatele obținute sunt publicate în 58 lucrări științifice.

Cuvinte cheie: sistem de calcul, sistem încorporat, metrica calității, cost hardware, analiză cantitativă, microcontroler, dispozitiv logic programabil.

Domeniul de studiu îl constituie cercetarea aspectelor teoretice și practice ale proiectării sistemelor încorporate în bază de microcontrolere și/sau dispozitive programabile pentru aplicații specifice și analiza comparată a soluțiilor arhitectural-structurale posibile după criteriile de cost și performanță.

Scopul lucrării constă în sporirea calității dispozitivelor cu destinație specială și reducerea timpului de proiectare-dezvoltare în spațiul aplicațiilor încorporate de nivel mediu sau redus ca complexitate și volum de realizare.

Noutatea și originalitatea științifică a rezultatelor obținute constă în: structurarea diverselor abordări arhitectural-funcționale în spațiul de proiectare a aplicațiilor încorporate de volum mediu sau redus; elaborarea unui model parametric de estimare a costului hardware, inclusiv a costului cablajului imprimat într-un spațiu de intrare/ieșire extins; elaborarea unei metodologii de analiză comparată a costului și de determinare a calității structurilor încorporate de alternativă.

Problema științifică soluționată constă în elaborarea unei metodologii privind estimarea costurilor hardware, inclusiv a cablajului imprimat, și a calității sistemului încorporat în funcție de dimensiunea spațiului de intrare/ieșire și volumul de producție la etapa timpurie de proiectare.

Semnificația teoretică a lucrării constă în propunerea unor noi modele și metode eficiente de alegere a soluției optime a arhitecturii sistemului încorporat prin estimarea costurilor sistemului în funcție de spațiul de intrare/ieșire și volumul de producție succedată de analiza cantitativă a calității pe baza criteriului cost-performanță.

Valoarea aplicativă a lucrării constă în elaborarea unui model parametric care permite estimarea costului hardware a sistemului încorporat la etapa de proiectare timpurie a aplicației încorporate. Metodologia de analiză cantitativă a calității elaborărilor de alternativă permite alegerea argumentată a platformei tehnologice pentru realizarea nucleului dispozitivului.

Implementarea rezultatelor științifice constă în utilizarea modelelor și metodologiilor prezentate în teză la elaborarea și implementarea unei serii de mostre funcționale ale dispozitivelor cu destinație medicală, aplicații în industrie și sfera socială.

Annotation

for science degree in technics with title “ Embedded electronic devices for industry, medicine and the social sphere”, presented by Vitaly Secrieru for conferring a PhD Degree in technical sciences, Chişinău, 2016.

Thesis structure. The thesis includes introduction, four chapters, conclusions, 135 bibliography references, 3 annexes, 144 sheets of base text, including 72 figures, and 5 tables. The results are published in 58 scientific papers.

Keywords: computer system, embedded system, the quality metrics, hardware cost, quantitative analysis, microcontroller, programmable logic device.

The area of study is researching of theoretical and practical aspects embedded systems design, which includes microcontrollers and/or programmable devices for specific applications, the comparative analysis of architectural and structural solutions by the performance and cost criteria.

The purpose of this thesis is to increase the quality for special purpose devices, to increase the design and development speed in embedded applications for the medium or small production volume and complexity.

Scientific novelty of the results is: structuring of functional/ architectural approaches in the area of embedded applications design for medium and low volume; development of model for parametric cost estimation for hardware, that includes cost of the PCB for extended input/output space; developing of methodology for analysis compared to the cost and quality of others incorporated structures.

The solved scientific issue were to develop a methodology for hardware costs estimation, including PCB and system quality, as reference to the input/output area size and the production volume at the early designing stage.

The theoretical value of the thesis is to propose new models and methods for choice of the optimal system architecture solution, by estimating the cost of the system depending on the input/output area size and production volume, followed by the quantitative analysis of the quality criteria of cost-performance.

The thesis value is to develop a parametric model to estimate cost of embedded hardware in the early designing phase. The methodology for quantitative analysis of others solutions quality allows a well-motivated choice for technology platform to achieve the device engine.

Implementation of scientific results is represented by the use of models and methodology approached in the thesis, by the development and implementation of a series of functional samples of devices for medical applications, industry and the social sphere.

Аннотация

диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук с темой „Встроенные электронные приборы для промышленности, медицины и социальной сферы”, автор СЕКРИЕРУ Виталие, Кишинэу 2016

Структура работы. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, выводов, библиографии из 135 наименований, 3 - х приложений, 144 страниц основного текста, включая 72 рисунков и 5 таблиц. Полученные результаты опубликованы в 58-и работах.

Ключевые слова: вычислительная система, встроенная система, показатель качества, стоимость оборудования, количественный анализ, микроконтроллер.

Область исследования является изучение теоретических и практических аспектов проектирования встраиваемых систем на микроконтроллере и/или программируемых устройствах для специализированных приложений и сравнительный анализ возможных архитектурно-конструктивных решений по критериям стоимость/производительность.

Цель и задачи работы состоит в повышении качества специализированных устройств и снижении времени разработки и внедрения встраиваемых электронных систем в области средней и малой производительности и объемов производства.

Научная новизна и оригинальность полученных результатов состоит в: структурировании различных архитектурно-функциональных подходов проектирования встроенных систем для среднего и малого объема производства; разработке параметрической модели оценки стоимости оборудования и печатной платы; разработке методологии для количественного анализа стоимости/качества альтернативных систем.

Решённая научная задача заключается в разработке методологии для раннего прогнозирования затрат на детали, включительно печатные платы и качества встраиваемых систем в зависимости от количества входов/выходов, объема производства.

Теоретическое значение заключается в предложении новых моделей и методов оптимального выбора архитектуры встроенной системы путем оценки стоимости системы в зависимости от количества входов/выходов и объема производства с последующим количественным анализом качества на основе критерия стоимость- производительность.

Практическая значимость работы заключается в разработке параметрической модели для оценки стоимости встроенных системы на раннем этапе проектирования. Методология количественного анализа качества альтернативных разработок позволяет произвести мотивированный выбор технологической платформы для ядра устройства.

Научные результаты работы состоят в использовании предложенных моделей и методологии для разработки и реализации ряда функциональных устройств, предназначенных для применения в медицине, промышленности и социальной сфере.

Lista abrevierilor

EmS - sistem încorporat
EmD – dispozitiv încorporat
IC – circuite integrate
IDE - medii de dezvoltare integrate
VLSI - scară largă și foarte largă de integrare
PDA - asistent personal digital
ESP - dispozitiv de calcul folosit în mașini pentru a îmbunătăți tracțiunea
RISC – arhitectura procesoarelor cu un număr de instrucțiuni redus
PLC - controllere logice programabile
MEMS – sisteme mecanice micro-electrice
MOS – tehnologia metal-oxid-semiconductor
DSP – procesor de semnal digital
MCU – unitate pe microcontroler
PLD – dispozitive logice programabile
FPGA – matrice de port programabilă de către beneficiar
CPLD – dispozitiv logic programabil pentru orice funcție cu control numeric
UC – unitate centrală
SoC – sisteme pe un cristal
CPU – unitate centrală de procesare
WLAN – rețea locală fără fir
USB – magistrală serială universală
RTOS - sistem de operare în timp real
ASIC – circuite integrate specifice aplicației
MPU – microprocesor
NRE – cheltuieli nerepetabile necesare pentru cercetare, dezvoltare, proiectare și testare a unui produs nou
ADC - convertoare analog-digital
DAC - convertoare digital-analog
LCD – ecran cu cristale lichide
PCB – cablaj imprimat

INTRODUCERE

Actualitatea temei de cercetare. Aportul electronicii în progresul tehnico-științific este indiscutabil. În prezent nici o ramură a economiei naționale nu a rămas neatinsă de modernizare, aspectul principal al cărei este dotarea cu noi posibilități funcționale, caracteristici de performanță, automatizarea diferitor procese tehnologice, precum și gestionarea în timp real a diferitor operații tehnologice sofisticate.

Majoritatea acestor aspecte pot fi soluționate prin utilizarea tehnicii de calcul moderne, însă legătura între calculator care servește drept nucleu de colectare a informației, prelucrare și generare a semnalelor de decizie trebuie să o efectueze o careva structură intermediară. În cazul soluționării unor probleme minore care nu necesită un volum mare de calcul, este mult mai simplu și mai rentabil de utilizat un dispozitiv independent care are un set de posibilități reduse însă satisface integral tuturor cerințelor sistemului. Ca rezultat a apărut o așa noțiune ca „sisteme încorporate” - sisteme de calcul care sunt părți componente a unor dispozitive speciale: sistemele robotizate, senzorii și echipamente de percepție digitală (sensor networks), achiziția și prelucrarea numerică a semnalelor și imaginilor (DSP-based and digital image processing systems), domenii de interes major în preocupările actuale ale comunității academice și industriale, fapt dovedit de numărul imens de aplicații și proiecte ce se dezvoltă în aceste domenii. Dispozitivele electronice încorporate sunt proiectate pentru o clasă particulară de aplicații, în prim plan sunt puse considerente de cost și consum, ca fiind de importanță majoră pentru aplicații. În ultimii ani, complexitatea aplicațiilor ce implică inteligența digitală încorporată a crescut într-o astfel de măsură încât s-a impus necesitatea de abordare și combinare a tuturor domeniilor amintite mai sus într-o manieră integratoare, prin definirea și implementarea de metodologii și tehnici specifice ce definesc noi domenii de cercetare-dezvoltare: medii colaborative robotizate, percepție artificială distribuită și rețele de senzori inteligenți.

Sistemele încorporate, sunt sisteme închise în care EmS propriu-zis interacționează cu exteriorul prin intermediul senzorilor și a elementelor de execuție punând la dispoziție și interfețe utilizator.

Caracteristicile de bază ale EmS ce pun în evidență toate părțile lor forte și au determinat utilizarea lor pe larg sunt: demne de încredere în siguranța, susținere, disponibilitate, protecție, securitate. Eficiente din punct de vedere al consumului de energie, dimensiunii programului de conducere (codul executabil), operării în timp-real, al greutății, al costului de producție. Dedicat spre o aplicație concretă, adică cunoașterea comportamentului procesului în momentul proiectării și poate fi utilizat pentru minimizarea resurselor, respectiv maximizarea robusteții EmS. Echipate

cu interfețe specializate cu utilizatorul (tastaturi și displayuri, fără mouse, etc.). Încadrate în restricțiile de timp-real impuse, un sistem de timp-real trebuie să reacționeze la stimulii proveniți de la sistemul controlat (sau de la operator) în interiorul intervalului dictat de mediu în care își desfășoară activitatea, pentru sistemele de timp-real răspunsul corect generat prea târziu sau prea devreme este greșit.

În general, în proiectarea sistemelor încorporate (EmS) trebuie ținut cont de diversitatea arhitectural-funcțională a sistemelor încorporate, deoarece există o varietate largă de abordări și soluții în spațiul respectiv de proiectare.

În particular, se impune necesitatea de structurare a diverselor abordări în spațiul de proiectare a aplicațiilor încorporate de volum mediu sau redus, dar și în cazul aplicațiilor EmS pe nișe înguste și foarte specifice. Importanța studiilor de acest gen rezultă din necesitatea alegerii variantei de implementare hardware, problemă ce trebuie rezolvată rapid și corect la etapa de proiectare a unui sistem EmS.

Pe de altă parte, proiectanții de sisteme EmS au nevoie de mecanisme simple de estimare a costurilor hardware pentru arhitecturi de alternativă, fiind de dorit și estimarea preliminară a dimensiunilor fizice. Importanța analizei factorilor de cost și performanță a sistemelor EmS crește ca urmare a unor constrângeri și presiuni tot mai accentuate impuse de piață.

Totodată, în condițiile actuale există necesitatea de a elabora și implementa sisteme electronice încorporate eficiente pentru aplicații în medicină, industrie și sfera socială, care sunt cerute pe segmentul de nivel mediu sau redus ca complexitate și volum de realizare.

Domeniul de cercetare. Lucrarea dată are drept domeniu de cercetare studiul aspectelor teoretice și practice ale proiectării sistemelor încorporate în bază de microcontrolere și/sau dispozitive programabile pentru aplicații specifice și analiza comparativă a soluțiilor arhitectural-structurale posibile după criteriile de cost și performanță.

Obiectul de cercetare. Sisteme și dispozitive electronice pentru dezvoltarea aplicațiilor încorporate pe segmente specifice de nivel mediu sau redus ca volum de realizare.

Scopul lucrării constă în sporirea calității dispozitivelor cu destinație specială și reducerea timpului de proiectare-dezvoltare în spațiul aplicațiilor încorporate de nivel mediu sau redus atât ca complexitate cât și ca volum de realizare.

Scopul propus a determinat următoarele **obiective ale cercetărilor**:

1. Analiza opțiunilor pentru alegerea platformei tehnologice în proiectarea EmS.
2. Structurarea abordărilor arhitecturale posibile în spațiul de proiectare a aplicațiilor încorporate.

3. Analiza factorilor de cost-performanță pentru aplicații încorporate de nivel mediu sau redus.

4. Cercetarea variației costurilor cablajului imprimat și analiza cantitativă comparată a realizărilor hardware de alternativă.

5. Proiectarea și elaborarea sistemelor și dispozitivelor încorporate pentru aplicații în medicină, industrie și sfera socială.

Suportul metodologic și teoretico-științific al cercetărilor este bazat pe analiza matematică, teoria algoritmilor, comparare între modele, teoria circuitelor, sisteme de elaborare automate și semiautomate.

Noutatea și originalitatea științifică constă în propunerea unei clasificări a arhitecturilor dispozitivelor încorporate, ținând cont de constrângerile structural-funcționale și non-funcționale caracteristice pentru spațiul de proiectare low-end/low-cost cu volum redus de producere. Pornind de la sistematizarea arhitectural-funcțională efectuată, se propune un nou model parametric de estimare timpurie a costului hardware, inclusiv a cablajului imprimat pentru dispozitive electronice încorporate pe bază de MCU și FPGA într-un spațiu de intrare/ieșire extins și o metodologie inedită de analiză multicriterială a arhitecturilor de alternativă, care permite alegerea optimală a platformei tehnologice pentru realizarea dispozitivului încorporat în faza de analiză timpurie a aplicației prin estimarea numerică a unui factor de câștig/pierdere în calitate raportat la platformele tehnologice în spațiul de proiectare considerat.

Semnificația teoretică a lucrării o constituie propunerea unor noi modele și metode eficiente de alegere a soluției optimale a arhitecturii sistemului încorporat prin estimarea costurilor sistemului în funcție de spațiul de intrare/ieșire și volumul de producție succedată de analiza cantitativă a calității pe baza criteriului cost-performanță. S-a demonstrat câștigul de calitate ce îl asigură microcontrolerele moderne pentru un spectru larg de aplicații încorporate, inclusiv în domeniul elaborării dispozitivelor cu destinație specială: medicină, industrie, sfera socială. În baza rezultatelor obținute se poate afirma că modernizarea utilajului electronic existent poate fi efectuată cu resurse materiale minime: în procesul de elaborare, echipa de ingineri asigură toate cerințele funcționale și parametrii de lucru ai dispozitivului necesari și prevede o rezervă schemotehnică, care permite dotarea ulterioară a dispozitivului încorporat cu noi funcții prin reproiectarea programului aplicației, partea electronică fiind invariantă sau schimbată neesențial.

Valoarea aplicativă a lucrării. Modelul parametric elaborat în cadrul tezei permite estimarea costului hardware a sistemului (dispozitivului) încorporat în spațiul de intrare/ieșire extins la etapa de proiectare timpurie a aplicației încorporate. Metodologia de analiză cantitativă

a calității elaborărilor de alternativă permite alegerea argumentată a platformei tehnologice pentru realizarea nucleului dispozitivului încorporat.

Rezultatele cercetării reprezintă un instrument util pentru elaborarea sistemelor încorporate fapt dovedit prin exemple funcționale reale ale dispozitivelor, care au fost expuse în cadrul multiplelor foruri, expoziții, prezentări și au cucerit distincții de valoare.

Rezultatele științifice înaintate spre susținere:

1. Clasificarea arhitectural-structurală a soluțiilor de alternativă pe bază de microcontrolere și dispozitive logice programabile în proiectarea și elaborarea sistemelor încorporate.

2. Model parametric de estimare a costului hardware și dimensiunilor fizice a dispozitivelor încorporate pentru aplicații de nivel mediu sau redus ca complexitate și volum de realizare cu spațiu de intrare/ieșire extins.

3. Metodă de estimare a câștigului/pierderii de calitate a arhitecturilor de alternativă și alegere a platformei tehnologice pentru realizarea nucleului dispozitivului încorporat.

4. Mostre funcționale de dispozitive cu destinație medicală: dozimetru de radiație UV, serie de ionizoare de aer, dispozitive de tratament cuantic.

5. Mostre funcționale de dispozitive pentru aplicații în industrie și sfera socială: dispozitiv de măsurare a turațiilor motoarelor pompelor electrice ermetice, bloc de dirijare și control a temperaturii pentru sisteme autonome de încălzire, panou de indicare pentru jocul de baschet, sistem micro-optoelectronic pentru iluminarea fațadelor.

Aprobarea rezultatelor lucrării. Rezultatele principale ale lucrării au fost prezentate la 19 foruri științifice din care vom menționa:

- Expoziția Internațională Specializată “INFOINVENT-2001”, 3-7 octombrie 2001, 24-27 noiembrie 2009. Catalog oficial, Editura AGEPI.

- 50th World Exhibition of Innovation, Research and New Technology “BRUSSELS EUREKA 2001”.

- 1st International Conference on INFORMATION TECHNOLOGIES - 2001 11-13 April, 2001, 10-12 april 2002, May 17-20 2012, Chișinău, Republic of Moldova.

- Proceedings of the 3rd International Conference on “Microelectronics and Computer Science” (ICMCS-02), September 26-28 2002, September 19-21 2007, Technical University of Moldova, Chisinau, Moldova.

- 4th International Conference on Electromechanical and Power Systems „SIELMEN 2003”, 26th - 27th september 2003, Chișinău.

- IX Международная Научно-Практическая Конференция «Современные информационные и электронные технологии», 19-23 мая 2008 г, Одесса.

- International Exhibition of Inventions, Research and Technological Transfer, INVENTICA'2008, mai 21-24 2008, 4-6 iunie, 2009, 8-10 iunie 2011, 13-15th iunie 2012, Iași, ROMANIA.

- 6th International Exhibition of Invention - China, Suzhou 16-20 October, 2008 - Suzhou, China.

- European Exhibition of Creativity and Innovation “EUROINVENT-2010”, May 7-9, 2010, May 12-14 2011, 10-12 May 2012, Iasi, Romamia.

- Proceedings of Inter. Conf. on Nanotechnologies and Biomedical Engineering (ICNBME-2011). July 7-8 2011, Chisinau, Moldova.

- 4th International Conference “Telecommunications, Electronics and Informatics” ICTEI 2012, May 17-20, 2012, Vol.II, P.176-181, Chișinău, Republica Moldova.

Publicații științifice. La tema tezei au fost publicate 58 lucrări științifice (dintre care 3 fără coautori) cu un volum total de 4.1279 coli de tipar, inclusiv 7 articole recenzate publicate în reviste. Au fost obținute 10 diplome, 4 cupe, 13 medalii de aur, 10 medalii argint, 4 medalii bronz, 7 acte de implementare.

Structura și volumul lucrării. Teza este compusă din introducere, patru capitole, concluzii finale, bibliografie (135 titluri) și 3 anexe. Conținutul de bază al tezei este expus pe 144 pagini, inserează 72 figuri și 5 tabele.

Conținutul de bază a lucrării

În **Introducere** este prezentată argumentarea și actualitatea temei de cercetare. Este formulat scopul și sarcinile cercetării, sunt prezentate domeniul și obiectivele cercetării, elementele de noutate științifică a rezultatelor obținute, este prezentată semnificația teoretică și valoarea aplicativă a domeniului de studiu.

În capitolul I, **Analiza stării de lucruri în domeniul cercetat**, a fost definită noțiunea de sistem încorporat și a fost descris locul și rolul sistemelor încorporate în electronica modernă. De asemenea au fost nominalizate domeniile principale de aplicații Ems și direcțiile principale de dezvoltare a sistemelor încorporate. Au fost puse în evidență cerințele și probleme specifice pentru aplicații Ems cu elemente de analiză și optimizare a factorilor de performanță. S-a formulat problema de cercetare, au fost stipulate cerințele și problemele specifice aplicațiilor. A fost efectuată analiza comparativă a platformelor hardware cu opțiuni în alegerea platformei pentru proiectare. În urma analizei tehnologiilor disponibile a fost argumentată alegerea utilizării

microcontrolerelor pentru realizarea unității centrale de prelucrare în cadrul volumelor mici și mijlocii de producție.

În capitolul II, **Analiza cost-performanță în spațiul de proiectare a sistemelor încorporate**, sunt prezentate elemente de organizare și funcționare a sistemelor încorporate, arhitectura virtuală a unui sistem încorporat, schemele structurale teoretic posibile de realizare precum și realizările fizic posibile ale acestora. A fost efectuată analiza factorilor ce influențează costul Ems. Pentru abordări de alternativă au fost selectate două arhitecturi generice în bază de MCU și FPGA și am propus un model de estimare a costurilor HW. De asemenea a fost efectuată o dezvoltare a modelului pentru calculul suprafeței cablajului imprimat funcție de dimensiunea I/O și volumul de producție. Cu ajutorul modelului propus a fost realizată cercetarea variației costurilor cablajului imprimat. A fost efectuată analiza cantitativă comparată a realizărilor Hardware de alternativă pentru MCU și FPGA în rezultatul căreia a fost stabilit că MCU-plus-CPLD reprezintă structura cea mai potrivită pentru performanță medie și spațiu I/O mare.

Capitolul III, **Elaborarea dispozitivelor cu destinație medicală**, este dedicat elaborării și confecționării unei serii de dispozitive cu destinație medicală:

A fost introdusă și definită noțiunea de câștig de calitate și efectuată analiza cantitativă a calității EmS pe baza criteriului cost-performanță. Analiza efectuată poate servi în calitate de metodologie pentru estimarea câștigului/pierderii de calitate a unei abordări arhitecturale în raport cu una de alternativă.

A fost elaborat și confecționat un dispozitiv de înregistrare și indicare a dozei radiației UV neactiv în domeniul vizibil și infraroșu, în baza unui senzor diferențial de radiație UV elaborat anterior în cadrul Laboratorului de Micro-Optoelectronica.

Un set de ionizoare de aer cu diverse destinații și caracteristici, începând de la cel mai simplu, destinat atât pentru tratarea pacienților cât și utilizării în industria agrară și zootehnică la tratarea semințelor, creșterea bovinelor, avicultură, etc. Seria o încheie un dispozitiv cu diverse modele de tratament și profilaxie în care pacientul desinestător alege cât regimul de lucru atât și parametrii de funcționare.

Un nou dispozitiv de tratament cuantic, cu caracteristici performante. Prin intermediul diodelor laser elaborate în cadrul Laboratorului de Micro-Optoelectronica, diodelor ultraviolete și capurilor optice, dispozitivul permite de a acoperi majoritatea regimurilor cunoscute de tratament fizioterapeutic și de stimulare neinvazivă a punctelor biologice active.

Capitolul IV, **Elaborarea dispozitivelor electronice pentru industrie și sfera socială**, este consacrat elaborării dispozitivelor EmS de uz general ce pot fi utilizate atât în industrie cât și în diferite domenii din sfera socială:

A fost elaborat și confecționat un dispozitiv de măsurare a turațiilor motoarelor electrice ermetice fără acces direct la rotor, unde în calitate de senzor a fost utilizat un solenoid cu ajutorul căruia se înregistrează valoarea câmpului electromagnetic indus în jurul motorului electric în funcție. Dispozitivul separa componenta activă cu ajutorul unui filtru special iar prin intermediul aparatului matematic se calculează turațiile rotorului.

Pentru instalații de încălzire autonomă pe energie electrică am confecționat un bloc de dirijare și control a temperaturii ce poate fi cuplat atât la sistemele de încălzire cu curent alternativ trifazat cu controlul permanent al prezenței fazelor, cât și la tensiune monofazată.

A fost elaborat un nou panou multifuncțional de indicare a informației pentru diverse jocuri sportive, care folosește un număr minim de fire de conexiune între panoul principal și cele secundare și permite introducerea comenzilor direct de la propriile telecomenzi.

În baza diodelor electroluminiscente supraluminiscente a fost elaborat un sistem micro-optoelectronic de iluminare, cu consum ultraredus de energie ce poate fi cuplat cu surse regenerabile de energie (minihidrocentrale, instalații eoliene și fotovoltaice).

În **Concluzii și recomandări** sunt expuse cele mai importante rezultate ale tezei.

Anexele conțin schemele electrice principiale ale dispozitivelor elaborate, cablajele imprimare ale acestora, imaginile exterioare ale dispozitivelor confecționate și copia actelor de implementare a elaborărilor tehnico-științifice.

1. ANALIZA SITUAȚIEI ÎN DOMENIUL DISPOZITIVELOR ELECTRONICE ÎNCORPORATE

1.1 Sisteme încorporate. Generalități

1.1.1 Ce este un sistem încorporat

Sistemele încorporate (Embedded Systems - EmS) sunt sisteme la care calculatorul/microprocesorul sunt doar simple componente [1, 2]. Principalul scop pentru care se utilizează microprocesorul este de a simplifica construcția sistemului și a oferi flexibilitate în proiectare și construcție;

Un sistem încorporat este construit pentru a controla o funcție sau o serie de funcții particulare și nu este destinat pentru a fi programat de către utilizatorul final. Singura interacțiune între utilizator și EmS se face cu scopul realizării funcțiilor impuse sistemului – aplicației;

Un sistem încorporat folosește o combinație de hardware și software pentru a rezolva o funcție specifică, lucrează într-un mediu reactiv care impune constrângeri de timp;

Sistemele încorporate sunt sisteme de prelucrare a informației înglobate în produse mai mari și care de regulă nu sunt direct vizibile utilizatorului.

1.1.2 Noțiuni generale, locul și rolul sistemelor încorporate în electronica modernă

Trei tendințe au permis creșterea complexității EmS, la care hardware și software nu trebuie privite ca domenii diferite, ci ca două opțiuni de implementare ce diferă prin metode de elaborare, cost, performanță, dimensiuni și flexibilitate:

1. Creșterea capacității de integrare a circuitelor integrate (IC).
2. Creșterea calității compilatoarelor au condus la utilizarea comună a limbajelor independente de procesor și a mediilor de dezvoltare integrate (IDE) în proiectarea sistemelor încorporate.
3. Dezvoltarea unor unelte software pentru proiectarea componentelor hardware ale sistemului. Metodele de sinteză permit proiectantului să descrie funcționalitatea dorită într-un limbaj de programare de nivel înalt și apoi să genereze automat o implementare de procesor cu hardware particularizat.

Proiectarea EmS se bazează pe cunoașterea diverselor tehnologii și este direct influențată de realizările în așa domenii ca: electronică (senzori, microelectronică, convertoare analog/digitale și digitale/analog); circuite logice, microprocesoare (microcontrolere); limbaje de

programare, sisteme de operare; tehnologia comunicațiilor; interfețe utilizator; tehnologia asamblării; studiul necesităților umane și cerințelor pieței.

Abordarea bazată pe EmS poate fi privită ca o introducere în filozofia elaborării sistemelor dedicate bazate pe calculator, utilă în așa domenii ca:

- Sisteme de control;
- Procesare digitală de semnal;
- Sisteme în timp real;
- Robotică;
- Proiectare pe scară largă și foarte largă de integrare (Very Large Scale Integrated VLSI);
- Rețele de senzori inteligenți și elemente de execuție inteligente;
- Testare și fiabilitate de sisteme pe bază de calculator;
- Tehnici de proiectare a schemelor cu consum redus;
- Aplicații diverse în domeniile: telecomunicații integrate, sisteme distribuite de prelucrare, automobile, echipamente medicale, clădiri inteligente etc.

Procesul de elaborare a EmS este similar cu cel al proiectării din lumea calculatoarelor de uz general: hardware, software și date intrare/ieșire cu o posibilă legare într-o rețea. Există însă diverse aspecte care fac o diferență principală între aceste două domenii. De exemplu, sistemele EmS trebuie să lucreze rapid, continuu și corect în prelucrarea datelor de intrare pentru a produce un rezultat cu un grad foarte mare de încredere (exemplu: sistemul de frânare al automobilului). Un alt moment esențial ține de costurile reduse/rezonabile ale sistemelor încorporate.

Tradițional structura unui sistem de control era împărțită în hardware și software care se elaborau și testau separat, iar în final se realiza integrarea și testarea sistemului complet după care urmau numeroase modificări, reluări frecvente ale proiectării, consum suplimentar de timp, ca rezultat: scumpirea elaborării, productivitate redusă;

Dacă hardware și software pot fi elaborate simultan și testate împreună încă din fazele inițiale ale proiectării, atunci costurile pot fi reduse obținând avantaj de productivitate iar produsul poate ajunge pe piață mai repede.

1.1.3 Domenii principale de aplicații al EmS

Domeniile de utilizare al aplicațiilor EmS în prezent sunt extrem de variate și diversificate, cu toate acestea pot fi puse în evidență principalele:

1. *Electronică de consum/Multimedia/Timp liber;*

- Bucătărie. Cuptoare cu microunde, congelatoare, automate de preparare a cafelei, cuptoare de pâine, uscătoare de fructe, combine de bucătărie;
- Mașini de spălat automate/semiautomate;
- Aparare fotografice, camere video, DVD player;
- Televizoare analogice (selecția canalelor, procesare audio) și digitale;
- Jocuri interactive multimedia, jucării inteligente;
- Sisteme de securitate și alarmare (case inteligente);
- Asistent personal digital (Personal digital assistant - PDA), Planșete Web (Tablet computers dedicated to Web browsing - Web pads) pentru accesarea instantanee a mesajelor, acces pagini Internet, album foto, colecție media;
- Telecomenzi;
- Sisteme de încălzire autonomă, etc.

2. *Autovehicule/Echipamente transport*

- Control motor (avans automat la aprindere, raport aer-combustibil, reglare viteză, consum minim de combustibil);
- Siguranță (control airbag, ABS Antilock Braking System - anti-blocarefrâne, blocare uși);
- Control navigație (stabilitate, transmisie automată, navigare prin hărți GPS). Spre exemplu ESP (Electronic Stability Program);
- Confort (iluminat, geamuri electrice, climatizare, afișaj bord);
- Elevatoare – lifturi;
- Transport naval și aerospațial (sisteme de navigare, sisteme militare de ochire și urmărire, sisteme de aterizare automată, explorare spațială);
- tehnică specială (sateliți, aviație, rachete teleghidate);
- navigație marină.

3. *Tehnologie spațială*

- Calculatorul de ghidare al rachetei Apollo (1969), utiliza aproximativ 4000 de IC, 20 tipuri de instrucțiuni, 16 biți, 2.048 MHz, 39.7 Kg, 70W 28VDC; Standby 15.0 watts;
- Mars Lander: Pathfinder (Exploratorul planetei Marte) (1997), Radiation Hardened IBM RISC 6000 Single Chip, 128 MB DRAM, 2.5, 5, 10 și 20 MHz;
- Mars Rover: Spirit (2004) Corsarul pe Marte, Rad6000 SC, 128 MB DRAM, 3MB EEPROM, 2.5, 5, 10 și 20 MHz.

4. *Calculatoare / Periferice / Birotică*

- Imprimante;

- Dispozitive FAX;
- Tastatură PC;
- Agende electronice;
- Bancomate electronice(ATM);
- Drive-urile de FD, HD, CD RW și DVD ROM;
- Cartelele acceleratoare 3D;
- Scanere;
- Alte dispozitive SCSI, USB.

5. Telecomunicații, rețele

- Telefon mobil;
- Sisteme de comutație automate;
- Routere, Hubs;
- Radar, etc.

6. Tehnică industrială de măsurare și control

- controllere logice programabile (PLC) pentru monitorizare și automatizări industriale;
- comenzi la distanță;
- robotică;
- automatizări ale proceselor chimice, nucleare;
- sisteme de supraveghere și înregistrare automată;
- osciloscopie digitale cu memorie;
- analizoare logice;
- analizoare spectrale etc.

7. Tehnică medicală

- monitoare ale semnalelor fiziologice (prelucrare, alarmare, diagnosticare etc.);
- grafică medicală;
- controlul instrumentației complexe (radiații, ultrasunete, etc);
- pompe de infuzie (medicație, alimentație direct în sistemul circulator al pacientului).

1.1.4 Direcții în dezvoltarea sistemelor încorporate

Din cele vizate mai sus se poate afirma cu siguranță ca EmS la moment au o imensă aplicabilitate și o perspectiva imensă de dezvoltare. Deoarece aplicațiile unde pot fi utilizate EmS sunt diverse și în continuă creștere, pot fi evidențiate următoarele cele mai importante direcții de dezvoltare:

- Senzori inteligenți și elemente de execuție încorporate (MEMS: micro-electro mechanical systems);
- EmS autonome (umanoizi);
- Bio-sisteme încorporate (proteze cu interfață neurală);
- Dispozitive de uz casnic (domotica);
- Sisteme de identificare precum: animale, haine, bijuterii, documente;
- etc.

1.2 Factorii de performanță ai sistemelor încorporate

1.2.1 Cerințe și probleme specifice pentru aplicații cu sisteme încorporate

Flexibilitate software.

Flexibilitatea software-ului include: model și cod de re-utilizare, reconfigurare dinamică, precum și alte subiecte de interes în special pentru viitoarea activitate. Schimbarea unor caracteristici sau adăugarea unor noi parametri nu trebuie să ducă la crearea unui software nou. Flexibilitatea nu se limitează la executarea doar a unui singur pas ci include: modelare și pași de proiectare, comutarea unor modele, amestecarea a diferite modele (sisteme de execuție mai vechi). În dezvoltare și codificare nu se limitează la anumite limbaje de programare și nici la separarea între codurile funcționale și codul de service (infrastructura). Dacă vorbim despre configurare și implementare atunci acestea se manifestă în alegerea între diferite implementări executate anterior, în timpul execuției reprezintă înlocuirea unor «piese de cod» cu alte mai noi (implică trasabilitatea între modelul de programare și de run-time)

Viteza de lucru.

În prezent aplicațiile pe EmS sunt în permanentă dezvoltare și lărgire a spectrului funcțional și tot mai des combină în sine multiple aspecte, unul din care este necesitatea de viteză de prelucrare sporită. Ca rezultat apar diferite probleme legate de acest indiciu precum: cazul cel mai dezavantajos al mai multor întreruperi aflate în curs de servire procesorul trebuie să funcționeze respectând specificațiile de proiectare sau lungimea buclelor de interogare suficient de scurte cu condiția să nu se piardă nici un octet de la o intrare de date serială, sau de la oricare altă interfață. De asemenea frecvența de ceas a procesorului nu trebuie confundată cu frecvența oscilatorului de ceas. Setul de instrucțiuni este de asemenea foarte important. În unele aplicații arhitectura RISC poate fi o capcană.

Siguranță/Încredere (Reliability).

Deoarece sistemele încorporate sunt utilizate în dispozitive și unelte care trebuie să funcționeze sigur pe parcursul a unei perioade îndelungate de timp, se pot evidenția o serie de probleme specifice de fiabilitate [1]:

1. Sistemul nu poate fi în condiții de siguranță oprit din lucru pentru reparații, sau este prea inaccesibil pentru a fi reparat. Exemple: sisteme spațiale, cabluri submarine, sisteme de automobile, stimulator cardiac.
2. Sistemul trebuie să fie în regim de rulare pentru motive de siguranță. Exemplele includ: sisteme de navigație pentru aeronave, sistemele de control ale reactoarelor, sisteme de siguranță-critice de control pentru fabrica chimică, semnalele de tren, motoare pe o aeronavă cu un singur motor, dispozitive de intervenție și monitorizare în sălile de intervenții chirurgicale.
3. Deconectarea sistemului poate provoca pierderi umane sau materiale considerabile. Exemple: dispozitive de întreținere forțată a vieții pacientului precum aparate de respirație artificială, rinichi artificial e.t.c., comutatoare telefonice, blocuri de dirijare și control la întreprinderi, control poduri și ascensoare, vânzări și servicii automate.

Fabricarea tranzistorilor de dimensiuni mici au dus la variații semnificative în parametrii acestora, cum ar fi lungimea canalului, grosimea de oxid a porții, iar tensiunea de prag pe tranzistori identici și vecini în diferite cipuri proiectate identic diferă semnificativ. Variațiile parametrilor provin din diferite fenomene, cum ar fi: fluctuații aleatorii a dopajului cu impurități și imperfecțiunea în planaritate. Divergență între parametrii tranzistorilor proiectați și fabricați creează probleme semnificative funcționale, de corectitudine, cum ar fi probleme de stabilitate în celule de memorie, curenți de scurgere mari.

O problemă semnificativă ce afectează siguranța funcționării sistemelor încorporate este tensiunea de alimentare și schimbarea dinamică a acesteia, spre exemplu testarea pe o memorie de 4-Mbit SRAM timp de o oră a arătat că numărul de erori crește de la 57 - 658, atunci când tensiunea scade de la 5 V la 4 V.

Variația de temperatură pe on-chip poate fi la fel de mare și să ajungă la zeci de grade. Din cauza costurilor de sensibilitate, SI, de obicei, nu își pot permite cheltuielile excesive pentru sisteme de răcire și de mecanisme pentru a ajuta la disiparea căldurii. Temperatura poate avea un impact dramatic asupra performanței și circuitul de putere. De exemplu, întârzierea de interconectare crește aproximativ cu 5 la suta și MOS-curentul scade de aproximativ 4 la suta pentru fiecare creștere a temperaturii cu 10°C, care poate provoca defecte tranzitorii. Scurgerile

de putere cresc exponențial, cu o creștere a temperaturii, care la rândul său determină creșterea în continuare a temperaturii cea ce poate duce la problema bine cunoscută de evadare termică.

Dimensiuni (portabilitate).

Este o problemă care a apărut nu azi și care va persista și în viitor. Minimizarea dispozitivelor elaborate și portabilitatea lor ține de modul de viață contemporan, mobilitatea atât a personalului cât și a utilajului utilizat atât în procesul de producție (montarea/demontarea rapidă a utilajului și transportarea acestuia) cât și în prestarea diferitor servicii (spre exemplu cardridere în cafenea sau dispozitive de citire și memorizare a datelor contoarelor unui set de utilizatori). Reducerea dimensiunilor este o problemă majoră în cazul implementării roboților medicali, dispozitivelor de intervenție chirurgicală și de investigație, întreg utilajului medical de primă urgență pentru a putea fi plasat compact în carețele de urgență.

Costuri.

O caracteristică importantă o constituie costurile de producție scăzute. Acestea au două componente:

- costurile pentru proiectarea și dezvoltarea produsului;
- costurile de producție și vânzare pentru fiecare unitate de produs.

Costurile vor fi corelate cu numărul de unități realizate: spre exemplu o aplicație foarte specifică (precum controlul comenzilor în cazul unui avion) va presupune costuri de proiectare mari, fiind posibilă utilizarea unor elemente hardware și software sofisticate și scumpe. La proiectarea unor telefoane celulare low cost însă se va avea în vedere în primul rând minimizarea costurilor.

Consumul de energie și reducerea lui. Factorii care afectează consumul de energie.

Consumul de energie al dispozitivelor, precum și problemele legate de reducerea acestuia sunt cele mai fierbinți subiecte la moment. Analiza problemelor la nivel de sistem oferă îndrumare cu privire la strategiile de proiectare și dezvoltare care cuprind atât hardware cât și software.

Există multe motive pentru care un designer de sistem încorporat este tot mai mult determinat să rămână în cadrul îngust al consumului de putere. Sensibilizarea și optimizarea sistemului de putere în primul rând depinde de timpul de viață a bateriei în dispozitivele electronice portabile, pentru care o creștere a consumului de energie, evident, duce la o scădere a timpului de viață a bateriei. Deși în ultimele trei decenii au fost realizate progrese mari în

domeniul tehnologiei acumulatorului, aceasta nu și-a păstrat pasul cu cerințele de electronice moderne. Acest lucru a afectat evident satisfacția consumatorilor, în cazul în care, pentru mulți clienți potențiali, în procesul de selecție, prioritatea este un driver puternic cu un timp de lucru autonom îndelungat. Spre exemplu: în primele zile ale iPhone (Apple), prețul de stoc a fost afectat negativ, de dezamăgirea clienților în durată de viață a bateriei aparatului, ca rezultat al acestei probleme a survenit descreșterea prețului acțiunilor companiei.

Unele lucruri sunt în valoare mult mai mare decât banii. Dispozitivele medicale implantate pentru a rula în regim autonom ani de zile, au nevoie ceva mai mult decât o baterie de ceas. De fiecare dată când o baterie trebuie să fie înlocuită, pentru pacient înseamnă o intervenție chirurgicală. În ciuda minunilor științei medicale, numai un procent mic de oameni se pot recupera de la acest tip de intervenții majore - astfel încât orice îmbunătățire în durata de viață a bateriei poate fi literalmente un economizor de viață al pacientului. Bateriile de stimulare cardiace au o capacitate de câteva sute de miliamperi oră, o mică parte din o baterie de laptop. Ea trebuie să funcționeze timp de cel puțin 10 ani. 300 mAh împărțit la 10 ani, 365 zile pe an, și 24 de ore pe zi, înseamnă că stimulatorul cardiac, în sine trebuie să ruleze pe 19 micro-amperi. Consumul de energie mai mic ar fi de dorit, astfel cum aceasta duce la intervenții chirurgicale mai puțin frecvente.

Puterea consumată de un dispozitiv este formată din puterea statică și dinamică. Puterea atât statică și dinamică poate fi influențată de la diferite etape de proiectare începând de la nivel de sistem și terminând cu cel de implementare. Designul la nivel de sistem presupune proiectarea arhitecturală și optimizarea puterii sub controlul software al aplicației. Puterile statice cât și cea dinamică sunt aditive, fiecare trebuie să fie luată în considerare în mod independent. Puterea statică, care este, de asemenea, definită ca "scurgere", se consumă în absența oricărei activități și este asociată cu curentul prin tranzistor în stare inactivă. Puterea dinamică este asociată cu activitatea și este influențată de volumul de date într-o unitate de timp. Frecvența de operare este de obicei determinată de frecvența tactului de ceas. Cu cât este mai mare frecvența de tact cu atât este mai mare frecvența de comutare a tranzistoarelor ceea ce conduce la consumul de energie dinamic mai larg.

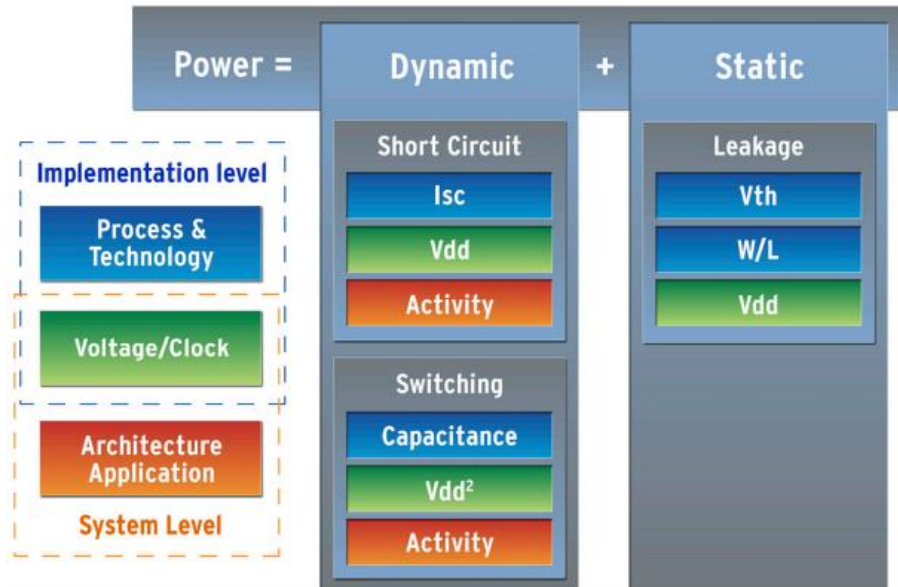


Fig.1.1. Factorii ce afectează consumul de putere [3]

Tensiunea de alimentare determină puterea atât statică cât și dinamică, după cum este ilustrat în figura 1. Consumul de energie crește odată cu tensiunea. În special, în mod semnificativ variază puterea dinamică. Reducerea de tensiune poate cauza o reducere de performanță.

Procesul tehnologic a fost dintotdeauna principalul factor de stabilire a puterii de consum, trecerea la dimensiuni geometrie mai mici, a permis reducerea de tensiune V_{dd} și reducerea curenților de scurgere a tranzistoarelor.

Toleranța la defect.

Unele aplicații trebuie să continue să funcționeze chiar dacă unele componente soft sau hard sunt scoase din funcțiune sau defectate (controlul zborului unui avion de exemplu, satelit sau oricare alt dispozitiv complicat de starea de lucru a căruia depinde viața și sănătatea oamenilor sau unor sisteme mai complexe).

Funcționalitate predefinită.

Se pot realiza numai anumite funcții iar hardware-ul și software-ul cu care este dotat un sistem, sunt destinate realizării acestor funcții predefinite. Există posibilitatea ca anumite funcții predefinite să fie folosite foarte rar de-a lungul perioadei de utilizare altfel spus, foarte rar vor fi folosite toate funcțiile ce pot fi programate.

Mentenabilitatea.

Probabilitatea ca sistemul să lucreze corect o anumită perioadă, după apariția unor erori sau defecțiuni atât la nivel de software (nu se execută un anumit bloc din program, sau programul sare peste o anumită instrucțiune) cât și hardware (spre exemplu s-a defectat o porțiune de memorie, sau a ieșit din funcție un bloc electronic parte componentă a dispozitivului).

Disponibilitatea.

Probabilitatea ca sistemul/dispozitivul să lucreze corect un timp dat. Poate fi calculată și depinde iarăși de factori ce pot apărea la nivel software: impuls pe linii de alimentare ce deteriorează lucru corect a programului sau hardware: numărul de componente utilizat.

Securitatea.

Asigurarea confidențialității datelor prelucrate. Este o problemă care deseori apare în timpul procesării și transmiterii de date (spre exemplu un sistem de colectare automat a datelor de la contoarele de energie electrică într-o clădire cu multe nivele și transmiterea acestora furnizorului de servicii).

1.2.2 Elemente de analiză și optimizare a factorilor de performanță a EmS.

Flexibilitate software.

Poate fi asigurată numai prin conlucrarea strânsă între inginerii care elaborează software și hardware. Reingenieringul, reconfigurarea dinamică, schimbarea unor caracteristici sau adăugarea unor noi parametri trebuie luată în calcul încă de la etapa de elaborare și prevăzute rezerve pentru acest scop. Softwareul trebuie executat pe blocuri în vederea perfectării ulterioare în cadrul unei aplicații mai noi sau în cadrul reingenieringului, precum și spațiu de program lăsat rezervă pentru viitor.

Viteză de lucru.

Viteza de lucru a dispozitivului EmS depinde în primul rând de viteza de prelucrarea a datelor în MCU sau FPGA (CPLD) iar aceasta este strâns legată de lungimea tactului. Ca rezultat sporirea vitezei poate fi efectuată numai prin mărirea frecvenței de lucru a UC. În acest sens proiectantul având caietul de sarcină din start este obligat să aleagă un UC performant cu frecvența de lucru maximală superioară necesităților curente pentru a avea rezervă în vederea

sporirii fiabilității. Problema data în prezent are diferite soluții și începe de la utilizarea unor familii mai performante de MCU în calitate de UC sau trecerea la FPGA (CPLD) care lucrează la viteze mult mai mari cu caracteristici în general asemănătoare.

Siguranță/Fiabilitate.

Sistemele încorporate de multe ori sunt utilizate în mașinile care trebuie să funcționeze în mod continuu ani de zile fără erori și în unele cazuri, recuperarea de către ei înșiși în cazul în care apare o eroare. Prin urmare, software-ul trebuie să fie dezvoltat și testat cu mai multă atenție decât cel pentru computere personale și nu pot fi credibile piese mecanice în mișcare cum ar fi: unități de disc, întrerupătoare sau butoane.

Pentru sporirea fiabilității sunt folosite o varietate de tehnici software, uneori în combinație, pentru a recupera erorile apărute:

- watchdog timer - care resetează calculatorul excepția cazului în care software-ul acționează periodic watchdog;
- subsisteme, cu piese de schimb redundante;
- software-ul "limp modes", care oferă funcție parțială;
- proiectarea cu un TCB (Trusted Computing Base), arhitectura asigură un mediu de sistem extrem de sigur și de încredere;
- un Embedded hypervisor este capabil de a oferi încapsulare sigură a oricărei componente a subsistemului, astfel ca o componentă software de compromis nu poate interfera cu alte subsisteme sau cu un alt nivel de software de sistem privilegiat.. Acest lucru permite de asemenea: închiderea și repornirea în mod automat a un subsistem la detectarea unor defecte.

În calitate de metode hardware de sporire a fiabilității sistemelor încorporate poate fi menționată utilizarea componentelor verificate a unor producători cunoscuți deoarece de fiabilitatea fiecărui component în parte depinde fiabilitatea întregului sistem. Utilizarea metodicilor de distribuire a sarcinii cu scopul excluderii pulsațiilor de tensiune în circuit și răcirea atât pasivă cât și activă în vederea diminuării fluctuațiilor parametrilor de lucru a circuitelor și elementelor discrete utilizate.

Dimensiuni (portabilitate).

Utilizarea structurii EMS în sine, reprezintă o soluție perfectă pentru a asigura portabilitatea dispozitivelor elaborate, adică pentru a minimiza dimensiunile fizice a produsului

final. În acest sens utilizarea în calitate de nucleu a MCU sau FPGA (CPLD) nu este principială, ambele metode de execuție asigură minimizarea gabaritelor geometrice și greutatea redusă a dispozitivelor elaborate, din acest punct de vedere sunt identice și echivalente.

Costuri.

După cum a fost menționat mai sus sunt două tipuri de cost care pot fi manipulate în vederea scăderii lor:

- costurile pentru proiectarea și dezvoltarea produsului;
- costurile de producție și vânzare pentru fiecare unitate de produs.

Ambele componente pot fi optimizate în vederea diminuării costului final al produsului. Spre exemplu reducerea costului la etapa de proiectare și dezvoltare poate fi făcută prin alegerea structurii EmS unde în calitate de nucleu va fi utilizat un MCU – prețul elaborării softwareului va fi mai mic deoarece e puțin mai simplu și deci poate fi executat mai rapid. În schimb dacă avem în plan vânzări mari adică scară medie și mare devine rentabilă și utilizarea FPGA (CPLD), deoarece la partide mari deja costul elaborării se diminuează iar însăși circuitele la volum mare de achiziționare scad semnificativ în preț. După cum se vede soluții pentru reducerea costului sun suficiente, metoda care trebuie aleasă depinde numai de cazul concret și ține de: complexitatea problemei, timpul de proiectare și dezvoltare, volumul preconizat de vânzări.

Consumul de energie și reducerea lui.

La etapa inițială de dezvoltare cea mai mare parte a efortului de proiectare a fost depusă pe hardware, software rămânând mult în urmă. De-a lungul timpului, echipele de proiectare au început să includă specialiști în software încorporat alături de ingineri hardware. În ultimii ani, dimensiunea echipei de mediu software comparativ cu omologii lor de hardware a crescut cu un factor de 2, 5, sau chiar 10, cu toate acestea echipa de software embedded nu este omogenă. Extinderea de echipe nu trebuie să fie pur și simplu o chestiune de adăugare a forței de muncă, inginerii softiști fiind susceptibili de a fi foarte bine versați în lucru aproape de hardware.

Sa abordăm în parte metodele de influențare a puterii de consum a dispozitivelor elaborate utilizând sisteme încorporate la nivel general.

I. *Metode software.* În linii generale, dezvoltarea de mai departe facilitează în special două direcții de a controla consumul de energie al sistemului prin intermediul software-ului:

- 1) Somn(sleep)/suspendare a lucrului. Istoric, în timpul dezvoltării au fost doar un număr limitat de nivele procesor de sleep. Dispozitivele ce implementează noul sistem integrat pe un chip (System-on-Chip SoC) continua să extindă aceeași gama de mecanisme software

disponibile. Numeroasele nivele de consum redus de energie (sleep, doza, hibernare, etc), pentru CPU și pe chip, au devenit din ce în ce mai sofisticate. Coordonarea unei game largi de nivele din CPU și periferii actualmente devine o sarcină majoră. Consumul redus de energie este strâns legat de performanța algoritmului. Orice procedeu care reduce numărul de cicluri de ceas sau frecvența de ceas necesare pentru a executa un algoritm, duce la reducerea consumului de energie și trebuie implementat. În cazul în care o platformă suportă sleep sau diferite modele de reducere a puterii, dacă sistemul poate finaliza lucrul în cicluri de ceas limitate, deci rămâne timp mai îndelungat într-un mod mai redus de energie, consumul general de putere se reduce considerabil.

2) Tensiune dinamică și scalare a frecvenței (Dynamic Voltage and Frequency Scaling - DVFS). În cazul în care este disponibil DVFS programul poate reduce frecvența de ceas și de tensiune a sistemului și în așa mod de a conserva energia.

De exemplu, să considerăm o sarcină care necesită 1 ms pentru a rula pe un procesor de 1 GHz la 1.4V. Rularea la o jumătate de frecvență (0,5 GHz) va crește timpul necesar pentru a finaliza sarcina la 2 ms. Reducerea frecvența de ceas la 0.5 GHz va reduce consumul de energie cu o jumătate, și reducerea tensiunii cu aproximativ o jumătate, ceea ce va duce la o reducere de 4 ori mai mare a puterii. Prin urmare, dacă cerințele de performanță a sistemului pot accepta o creștere a timpului de executare a algoritmului până la 2 ms, prin reducerea frecvenței de ceas și de tensiune se poate consuma doar 1/8 de putere. Desigur, performanța executării codului este radical afectată de puterea de procesare a procesorului/controlerului. Un procesor puternic executa mai multe milioane de instrucțiuni pe secunda, dar se execută cu o frecvență de ceas foarte mare, care afectează în mod direct consumul de energie. Mai multe procesoare, de mai mică putere, care rulează la frecvențe mai mici pot fi în măsură să ofere o capacitate de execuție similară, în timp ce consumă mai puțin. Cu toate acestea, se introduce o complexitate suplimentară în software-ul, care trebuie să fie configurat pentru sisteme multiprocesor (multicore).

II. *Metode hardware.* Selectarea componentelor hardware include alegerea procesorului/controlerului, dispozitivelor periferice și memoria care va alcătui designul total. O decizie cheie este alegerea procesorului potrivit. Unele controlere sunt optimizate pentru funcționarea în regim redus de energie, spre exemplu: dispozitive portabile, unele desktop-uri și servere. Există, de asemenea, o gamă largă de memorii cu caracteristici diferite de performanță/putere. În unele modele, memoria poate fi responsabilă pentru până la jumătate din designul și poate consuma cantități mari de energie. În final, în cele mai avansate dispozitive este necesar de a sprijini numeroase interfețe ce le conectează între ele sau cu

perifericele, spre exemplu: semnale video, audio, mesaje text, precum și semnale de control în diverse formate. Topologia hardware definește modul în care componentele de proiectare sunt conectate între ele, de obicei prin intermediul unor șine standard, folosind protocoale standard. Deoarece unele șine de date sunt necesare pentru a obține viteze de comunicare sporite folosind diferite scheme de arbitraj, iar altele de viteză resursă sau resurse de comunicare dedicate, arhitectura șinelor poate deveni destul de complexă. Topologia hardware are un impact important, cum ar fi latentă și transfer de date, astfel direct este influențat nivelul de putere consumat.

Dacă să efectuăm o analiză particulară a soluțiilor de diminuare a puterii de consum pot fi enumerate următoarele direcții majore:

- Afișare. În varietatea de sisteme încorporate afișările sofisticate devin tot mai frecvente. Dimensiunile lor și rezoluția este în continuă creștere, pe larg fiind pusă în aplicare și sensibilitatea tactilă. Ca rezultat hardware-ul este un canal de mare scurgere de putere. Afișoare pasive care nu emit lumina, cum ar fi cele utilizate în e-book cititoare, duc la minimizarea consumul de energie. Afișarea cu iluminare din spate, cum ar fi cele folosite la laptop-uri, consumă mult mai multă putere, de aceea este esențial ca utilizarea software-ului să monitorizeze foarte atent și să atenueze sau să stopeze afișează atunci când nu este în uz.

- Wireless Local Area Network (WLAN sau Wireless). Dispozitive periferice înglobate în ultimii zece ani devin din ce în ce mai conectate prin intermediul wireless. Sunt disponibile o varietate de tehnologii precum: Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee, tehnologiile celulare cum ar fi GSM fac concurența împreună cu Radio Frequency Identification (RFID) și Near Field Communication (NFC). În aproape toate cazurile, software-ul trebuie să aibă posibilitatea de a dezactiva interfața de rețea wireless atunci când nu este în uz sau de a optimiza puterea de transmisie pentru circumstanțele actuale.

- USB. Pentru un sistem încorporat, USB poate apărea în două forme. În cazul în care dispozitivul este un echipament periferic USB, software-ul său ar trebui să răspundă corect la solicitările de la master să se închidă sau să se suspende. În cazul în care aparatul este alimentat cu energie de la master, aceasta trebuie să fie strict limitată (la 500mA cu USB 2.0 și USB 3.0 cu 900mA). Un sistem încorporat poate fi, de asemenea master USB, caz în care produsul software gazdă trebuie să monitorizeze utilizarea de periferice USB, să stopeze sau să dezactiveze dispozitive neutilizate. Dacă în aplicare este pus USB 3.0, utilizarea deplină a capacităților sale mai avansate de gestionare a energiei ar trebui să fie aplicate la fiecare capăt de șină de date.

- Utilizarea CPU. Performanța în executarea codului poate fi destul de semnificativă - minimizarea numărului de instrucțiuni care trebuie să fie executate pentru a îndeplini sarcina

dată, reduce numărul de Watt-ore necesare. Viteză de execuție a codului aplicației poate fi afectată de proiectare și instrumentele de dezvoltare folosite. Un RTOS (A real-time operating system) suportă în mod normal un mediu multi-aplicații mai eficient, în ceea ce privește utilizarea procesorului, în comparație cu sistemele de operare Linux și altele de uz general. Studiile au arătat că puterea consumată de un dispozitiv, care îndeplinește sarcini identice folosind diferite sisteme de operare poate varia mult. În orice caz, un sistem de operare poate fi reglat pentru a minimiza cheltuielile. Consumul redus de energie este strâns legat de performanța algoritmului. Orice lucru care poate fi făcut pentru a reduce numărul de cicluri de ceas necesare pentru a executa un algoritm trebuie aplicat în vederea reducerii consumului de energie.

- Memorie. Dimensiunea codului și spațiul de date al unei aplicații afectează în mod evident capacitatea de memorie necesară pentru elaborare. Deși este puțin probabil să fie un factor semnificativ, dar memoria consumă energie, iar minimizarea acesteia este de dorit. Un design cu memorie suficientă ar fi o soluție pe termen scurt, în urma îmbunătățiri în viitor a software-ului trebuie să fie găsită posibilitatea de extindere/reducere. Dimensiunea unei aplicații a sistemului încorporat este în general afectată de doi factori: codul aplicația în sine și orice software adițional IP. Dimensiunea codului aplicației poate fi redusă prin elaborarea precută și utilizarea unor instrumente de dezvoltare de înaltă calitate. Componente software suplimentare pot fi alese cu amprenta de memorie care se include în criteriile de selecție.

Cea mai mare iscusință în proiectarea unui sistem încorporat de astăzi este de a folosi strategii care să aplice cele mai bune compromisuri între performanță și consumul de energie, care să includă toate măsurile de eficiență posibile. Ca rezultat pot fi nominalizate două strategii cheie care trebuie să fie adoptate:

- Elaborarea cu scopul consumului de energie optim necesită o abordare la nivel de sistem – trebuie să fie implicați atât proiectanții de hardware cât și de software;
- Trebuie utilizate instrumente speciale de estimare a consumului de energie, procedură care trebuie efectuată la etapele inițiale de design, aceasta fiind esențial pentru evitarea pierderilor de timp pentru re-design.

1.3 Formularea problemei de cercetare.

Un sistem încorporat poate fi definit ca un sistem de prelucrare a datelor încorporat în cadrul unui dispozitiv special. Astfel, un sistem EmS este constituit din componente, care au următoarele funcții: de procesare aritmetico-logică, de comandă și control, de interacțiune cu mediul exterior prin spațiul de intrare-ieșire, de memorare, de comunicație, de captare a

parametrilor ce caracterizează mediul de aplicație, de conversie și de afișare. Se poate observa că componentele structurale ale unui sistem EmS sunt similare unui sistem de calcul de uz general. Deosebirile esențiale țin de natura și dimensiunea spațiului de I/O. Intrările-ieșirile sunt mult mai diverse și mai numeroase în cazul sistemelor încorporate decât în cazul unui sistem de calcul de uz general.

Arhitectura tipică a unui EmS este construită pornind de la cerințele de bază impuse în proiectarea sistemelor încorporate [4-9]. În proiectarea unui sistem încorporat, trebuie respectate atât cerințele funcționale, cât și cerințele cost-performanță [8-11]. Problema ce ține de cost și cost-performanță este una complexă. În general nu există o țintă unică pentru proiectanții diverselor sisteme de calcul. Chiar dacă există proiecte de calculatoare care tind să ignore costurile - supercalculatoarele oferă un caz specific în acest sens, importanța și actualitatea proiectării sistemelor cost-efective este în continuă creștere. Ca dovadă poate servi faptul că proiectarea în spațiul calculatoarelor înalt performante [12] ocupă o nișă foarte mică pe piața sistemelor de calcul. De altă parte, proiectarea în spațiul calculatoarelor cu cost redus sau cu un raport cost-performanță relativ echilibrat devine tot mai importantă [11]. Majoritatea sistemelor încorporate se încadrează în acest spațiu de proiectare, de regulă fiind caracterizate ca sisteme cost sensitive [8]. În spațiul de proiectare considerat dispozitivele sunt adesea proiectate pentru o clasă particulară de aplicații. Totodată, în acest spațiu de proiectare, pe prim planul aplicației sunt adeseori puse în evidență considerente de cost și consum de putere, ca fiind de importanță majoră pentru aplicația încorporată [11].

Bazele teoretice de organizare și funcționare a unui EmS sunt, în esență, similare principiilor de organizare și funcționare a unui sistem de calcul de uz general. Cu toate acestea în proiectarea unui sistem încorporat trebuie ținut cont de diversitatea arhitectural-funcțională a sistemelor încorporate. Rezultă o varietate largă de abordări și soluții arhitecturale în spațiul respectiv de proiectare.

Astfel, se impune necesitatea de structurare a diverselor abordări în spațiul de proiectare a aplicațiilor încorporate de volum mediu sau redus. Este însă și cazul aplicațiilor EmS pe nișe înguste și foarte specifice. Importanța studiilor de acest gen rezultă din necesitatea alegerii variantei de implementare hardware, problemă ce trebuie rezolvată rapid și corect la etapa de proiectare a unui sistem EmS.

Pe de altă parte, proiectanții de sisteme încorporate au nevoie de mecanisme simple de estimare comparată a costurilor hardware pentru arhitecturi de alternativă, fiind de dorit și estimarea preventivă a dimensiunilor fizice. Importanța analizei factorilor de cost și performanță a sistemelor încorporate crește ca urmare a unor constrângeri și presiuni tot mai accentuate

impuse de piață. În acest sens putem menționa necesitatea satisfacerii unor cerințe stricte privind consumul de putere, dimensiune fizică și greutate, etc. Un alt aspect, nu mai puțin important, ține de concurență și dictează inclusiv reducerea timpului de proiectare – implementare pe piață. În aceste condiții efectuarea analizei cost-performanță a sistemelor încorporate și construirea unor modele simple de estimare a costurilor dar și a calității pe baza criteriului cost-performanță este actuală și prezintă interes practic. La moment, în literatura de specialitate problema menționată este tratată superficial, fiind într-o fază incipientă, în special în proiectarea aplicațiilor încorporate pe segmentul de nivel mediu sau redus atât ca complexitate cât și ca volum de realizare.

Orice sistem proiectat și dezvoltat are ca finalitate aplicații concrete și specifice. În condițiile actuale există necesitatea de a elabora și implementa sisteme electronice încorporate eficiente pentru aplicații în medicină, industrie și sfera socială, care sunt cerute pe segmentul de nivel mediu sau redus ca complexitate și volum de realizare.

1.4 Analiza comparativă a platformelor hardware

1.4.1 Necesitatea analizei tehnologiilor disponibile

În prezent elaborările noi reprezintă o nouă generație de capacități și caracteristici tehnice. De aceea ele includ: senzori, elemente electronice de putere și de acțiune. Majoritatea producătorilor includ sisteme încorporate în produsele lor finite. Deoarece cerințele de performanță ale anumite aplicații sunt sporite, inginerii trebuie să utilizeze designul încorporat într-un mod diferit decât în alte tipuri de modele mai puțin performante. În funcție de aplicațiile încorporate, proiectanții trebuie să ia în considerare constrângerile de proiectare. Sa găsească cea mai bună soluție care se potrivește aplicației, în care se produce mixarea soluțiilor tehnice potrivite și a cerințelor de piață:

- Tehnicile utilizate includ indicatori de design și performanță.
- Cerințele de piață stipulează de regulă volumul de producție, prețul elaborării, resursele ingineresti necesare de implicat, analiza de risc.

Acest set de provocări este realitatea cu care se confruntă proiectanții de sisteme încorporate în prezent. Un alt aspect este consumul de energie a dispozitivelor noi în funcție de complexitatea lor care este în continuă creștere, de aceea producătorii de EmS caută mereu soluții noi pentru a optimiza costurile și performanța produselor noi elaborate. O serie de lucrări care se concentrează pe estimarea și optimizarea performanței sistemelor încorporate pentru aplicații în timp real pot fi găsite în literatura de specialitate [13,14]. În general, modelarea EmS, precum și estimarea anticipată de noi modele de sisteme încorporate sunt subiecte fierbinti și se află printre

primele rânduri ale publicațiilor noi. Mai mult decât oricând, proiectanții sistemelor încorporate trebuie să dezvolte sistemele sale din considerente cost/eficiență.

Pe baza celor expuse mai sus, proiectanții trebuie să analizeze tehnologiile disponibile și să selecteze platforma care va satisface cerințele de: performanță, cost și timp de proiectare, pentru a fi în stare să reziste concurenței de piață.

1.4.2 Opțiuni în alegerea platformei pentru proiectarea EmS

În conformitate cu problematica formulată în paragraful 1.3 alegerea corectă a unității centrale de prelucrare este foarte importantă. Această unitate poate fi realizată cu microprocesor, microcontroler, dispozitive de tip DSP, FPGA, ASIC. În general vorbind, un EmS reprezintă un sistem electronic analog-digital. De obicei, sistemele încorporate conțin senzori, elemente electronice de procesare a datelor și elemente de putere pentru dirijarea mediului aplicației. Toate acestea sunt necesare pentru prelucrarea informației obținute și de controlul sistemelor de acționare. EmS este proiectat pentru funcționarea în lumea reală, care funcționează într-un mod analog, adică continuu. Din acest motiv, circuite analogice, cum ar fi senzori și elementele de dirijare sunt folosite pentru a interfera cu mediul înconjurător: mediul de aplicație. Pe de altă parte, prelucrarea informației se face digital. Unitatea centrală de prelucrare este folosită pentru controlul algoritmic și de procesare a datelor.

În faza de elaborare a EmS proiectanții trebuie să studieze diferite chipuri, capacitățile și arhitectura lor. Selecția include alegerea componentelor hardware precum: procesor, memorie și elementele periferice care vor compune EmS. O decizie cheie este alegerea corectă a unității centrale [9]. Cele mai multe aplicații încorporate necesită hardware personalizate. În același timp, proiectanții doresc soluții flexibile, modulare, care pot fi modificate pentru a servi cerințelor de piață în creștere sau de a răspunde viitoarelor cerințe.

În funcție de flexibilitatea dorită și cu privire la importanța costurilor precum și a puterii de consum, există diferite opțiuni pentru punerea în aplicare a algoritmilor de prelucrare și control. În zona de aplicații EmS sunt platforme precum: microprocesoare MPU, microcontrolere MCU, procesoare numerice de semnal DSP (digital signal processors).

Profitând de MCU-uri, periferice dedicate și biblioteci predefinite de software, designerii sistemelor încorporate sunt capabili să pună în aplicare rapid proiecte cu cele mai recente tehnologii. În funcție de cerințele de aplicație, proiectanții EmS posedă o gamă largă de soluții în crearea UC: începând cu microcontrolere low-cost 8-biți până la high-end și top-performante, precum și familii de 32-biți de la așa producători ca: Atmel, Texas Instruments, Intel, Silicon Labs e.t.c. Pe de altă parte PLD (programmable logic devices), ASIC (application-specific

integrated circuits), precum și SoC (systems on a chip), sunt circuite tipice în sfera de aplicații încorporate.

CPLD (complex programmable logic devices) sunt dispozitive low-cost pentru orice funcție cu control numeric. FPGA (field-programmable gate arrays) reprezintă o tehnologie modernă PLD pentru construirea unui sistem sau prototip din părți standard. Blocuri logice programabile și interconexiuni programabile care reprezintă același FPGA pot fi utilizate în diverse aplicații încorporate [15]. Acest tip de PLD sunt destinate pentru aplicații de performanță embedded medii. FPGA-urile au tactul de ceas, în intervalul de până la 500 MHz. Această frecvență este prea mică pentru a satisface funcționarea și cerințele necesare în aplicații de înaltă performanță. De fapt, FPGA-uri suferă de probleme de sincronizare post-aspect. După locul de plasare pe cablaj și traseul de rutare, frecvență maximă de funcționare pentru modele reale este în intervalul de c.c.a. 250 MHz.

FPOA (Field-programmable object array) este o platformă care suportă modele de mare viteză. Spre deosebire de FPGA-uri care implementează funcții la nivel de poartă, FPOA folosesc blocuri de ordin superior de construcții numite "obiecte" [16]. Această abordare permite FPOA să funcționeze determinist, la frecvențe de până la 1 GHz. Un FPOA necesită o gazdă (host), cum ar fi un MPU RISC sau MCU. Această cerință pune FPOA într-o zonă de aplicații după frecvențe între FPGA și MPU. Este o mașină complet programabilă, dar are nevoie de un controler gazdă extern pentru a încărca inițial fluxul de biți și de a prelua rezultatele [17]. Cele mai multe FPGA-uri au nevoie de asemenea de controlere exterioare de comandă, deși unele au nuclee de procesoare hard pe cipul propriu, iar altele au o capacitate suficientă pentru a pune în aplicare un nucleu de procesor soft.

ASIC este un circuit integrat specializat pentru o anumită utilizare, și mai puțin destinat pentru uz general de aplicare. ASIC-le moderne includ nuclee (IP), blocuri întregi MPU/MCU, memorie și alte blocuri mari de construcții. ASIC-urile au fost un timp îndelungat o alegere naturală pentru volum mare de produse. În timp ce ASIC au costuri mai bune pentru volume foarte mari, ele au de asemenea un foarte mare NRE (non-recurring engineering). Costul NRE se referă la cheltuielile de timp necesare pentru cercetare, dezvoltare, proiectare și testare a unui produs nou. NRE este un preț de surplus care trebuie să fie plătit în mod constant pentru a menține producția.

În domeniul ASIC, odată cu descreșterea dimensiunii tranzistorului, costurile NRE cresc în mod dramatic. Acest lucru este deosebit de important în mediul economic actual, în cazul în care nimeni nu vrea să se angajeze în producția de sute de mii de unități și costuri NRE imense.

Pentru proiecte mai mici și/sau volume mai mici de producție, FPGA-urile pot fi mai eficiente decât un design în bază de ASIC.

Platformă sau structura ASIC este un termen relativ nou în industrie, ca rezultat, definiția sa încă nu e stabilită clar. Tehnologia ASIC structurată este văzută ca o punte de legătură între FPGA-uri și ASIC pe un cristal. Deoarece numai câteva straturi pe cristal trebuie să fie specializate, costurile NRE sunt semnificativ mai mici decât o dezvoltare pe bază de celule ASIC [18,19].

Platforma structurată ASIC este o tehnologie intermediară între ASIC și FPGA, oferind o înaltă performanță caracteristică ASIC și costuri reduse de NRE caracteristică FPGA. Utilizarea platformei ASIC structurată permite proiectarea de EMS care urmează să fie introduse rapid pe piață cu costuri mai mici.

Un sistem pe cip este un circuit care integrează toate componentele unui sistem electronic într-un singur cip. Un SoC (system on chip) constă dintr-un nucleu MPU, MCU sau DSP, memorie, periferice, interfețe standard externe, interfețe analogice, cum ar fi convertoare analog-digital (ADC) și convertoare digital-analog (DAC). SoC pot fi fabricate prin mai multe moduri, inclusiv tehnologiile bazate pe ASIC și FPGA. Designul SoC consumă ca regulă mai puțină energie, are un cost mai mic și fiabilitate mai mare decât a sistemelor multi-cip care le înlocuiesc. Totuși, ca majoritatea proiectelor VLSI, costul total este mai mare pentru un singur cip, mai mare decât pentru aceeași funcționalitate distribuită peste mai multe chips-uri mici, cauza fiind randamentul mic și cost mai mare NRE.

Figura 1.2 reprezintă costul unui volum de produs tipic pentru platforma ASIC, cât și ASIC pe un chip. Volumul de producție este complet dependent de complexitatea proiectului și diferă de la o aplicație la alta [19].

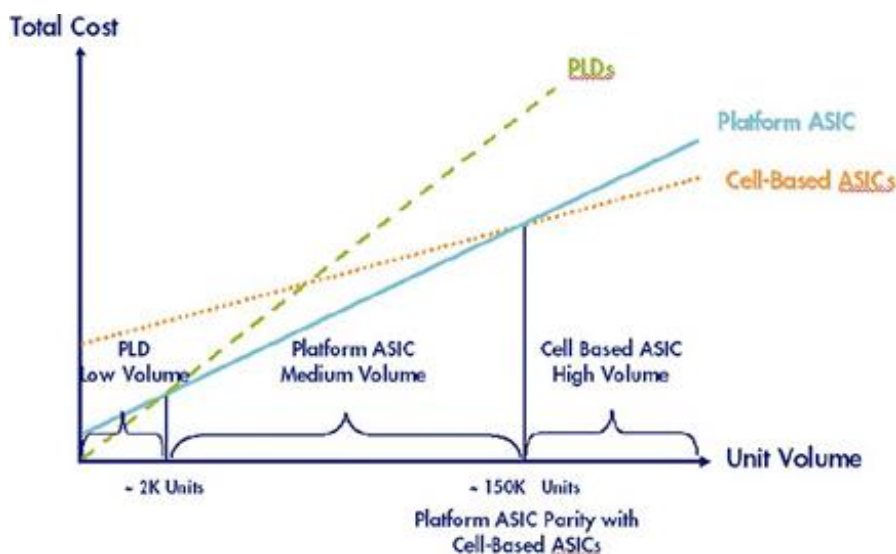


Fig.1.2. Costul total în dependență de volumul de producției.

La momentul de luare a deciziei dintre opțiunile unui dispozitiv/platformă, este important să se ia în considerare toți factorii implicați. Acești factori sunt de obicei: analiza de cost (costuri NRE, costul unitar, resurse de proiectare, instrumentele de proiectare), cererea pe piață, fezabilitatea tehnică a fiecărei soluții în realizarea finală, resursele ingineresti, analiza de risc.

De asemenea, este foarte important să se ia în considerare căile disponibile de migrare a unor blocuri de la un dispozitiv curent sau platforma la un alt dispozitiv/platformă care va fi elaborat ulterior.

În cazul în care volumele anticipate ale EmS nu sunt prea mari, FPGA-uri ar putea fi o alternativă mai puțin costisitoare comparativ cu ASIC și SoC.

Odată cu creșterea densității și complexității FPGA-uri, arhitecturile programabile devin mai atractive pentru punerea în aplicare pentru diverse modele de EmS. Producătorii de FPGA sunt în continuă adăugare de logica și de memorie, I/O precum și funcționalitatea DSP, ceea ce duce la creșterea performanței sistemului și reduce necesitatea de dispozitive periferice. Producătorii de FPGA în continuu furnizează nuclee IP low-cost, care oferă blocurile necesare pentru crearea sistemelor încorporate [15].

Sistemele încorporate folosesc adesea un MCU pentru a îndeplini toate sarcinile legate de UC a aplicației. Cu toate acestea este destul de dificil de a rezolva o cerere de calcul intensiv cu un MCU low-end sau chiar de nivel mediu. Ca rezultat, în cele mai multe cazuri sunt puse în aplicare un off-the-shelf standard MCU și un low-cost off-the-shelf FPGA. Această combinație MCU-plus-FPGA înlocuiește în mod eficient ASIC-le în multe aplicații încorporate. Motivația pentru care se utilizează comercial off-the-shelf MCU/FPGA este reducerea timpului de elaborare globală EMS și costurile acestora.

Selectarea unui MCU care integrează componente utilizate în mod obișnuit ajută designerii la reducerea costului total al EmS, complexitatea de proiectare și timpul de dezvoltare. Un alt aspect important de design este flexibilitatea, pentru a introduce schimbări rapide și ușor fără a implica costuri de dezvoltare.

MCU în special este utilizat pentru comunicarea cu periferiile, în timp ce FPGA este folosit pentru efectuarea calculului algoritmic intensiv. Re-programabilitatea atât MCU și FPGA oferă o mare flexibilitate pentru a răspunde sarcinilor schimbătoare ale pieței. Nu există costuri NRE și timpul de plasare pe piață este cel mai scurt posibil.

O problemă, care poate apărea, este lipsa de pini liberi. Pentru a o soluționa poate fi ales un MCU mai mare, cu mai multe I/O. O soluție alternativă este de a utiliza un CPLD low-cost ca o punte pentru a îndeplini toate sarcinile legate de spațiul de I/O, astfel utilizând un MCU low-cost pentru a efectua alte operațiuni. Deoarece CPLD sunt non-volatile, pe un singur cip, ele sunt

foarte ușor de încorporat într-un sistem pentru a rezolva problemele locale cum ar fi: insuficiența I/O, pini în cazul MCU. Pentru modele mici, o combinație de MCU-plus-CPLD poate fi o soluție excelentă, în cazul în care CPLD este folosit pentru logică specializată și I/O de expansiune. O altă posibilitate este de a proiecta FPGA/CPLD pentru sistemele încorporate. Această alegere se poate face pentru proiecte medii/mici EmS.

În figura 1.3 este prezentată dependența prețului dispozitivelor FPGA și ASIC de volumul de fabricație. Se poate observa că circuitele ASIC reprezintă o alternativă solidă pentru volume mari de produse. Pentru volume mici costul acestor circuite este relativ mare, alt dezavantaj rezultând din timpii mari de proiectare a unui ASIC.

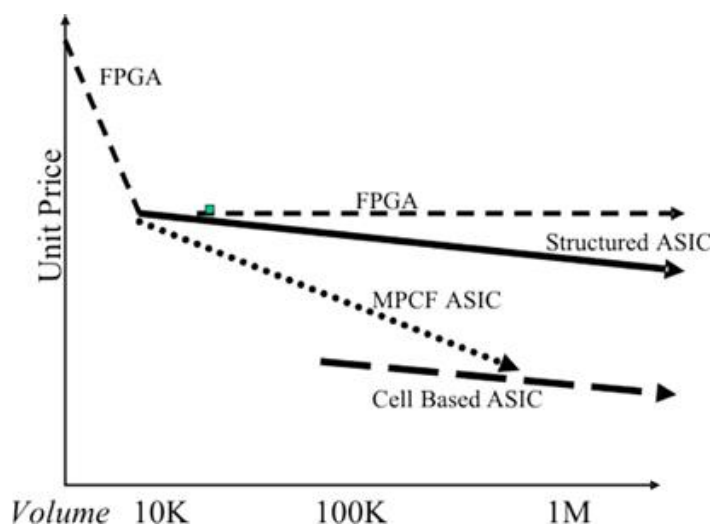


Fig.1.3. Prețul dispozitivelor FPGA și ASIC versus volum (imagine preluată din [19]).

Procesoarele DSP acoperă aproape în exclusivitate segmentul specific al aplicațiilor de prelucrare numerică a semnalelor, inclusiv în cazul sistemelor EmS. Microprocesoarele acoperă în mod firesc piața sistemelor de calcul de uz general.

Astfel, pentru spațiul de proiectare a aplicațiilor încorporate de volum mediu sau redus, există două alternative: microcontrolere și dispozitive FPGA/CPLD. La drept vorbind, există și alternativa dispozitivelor de tip FPOA similare oarecum celor de tip FPGA. Însă circuitele FPOA sunt destinate în special pentru aplicații de prelucrare a imaginilor, operând la frecvențe superioare circuitelor FPGA.

La prima vedere pare indiscutabilă alegerea unui microcontroler pentru realizarea unității centrale de prelucrare. În foarte multe cazuri este o alegere corectă și potrivită sub toate aspectele: cost, viteză de lucru, consum de putere [20]. Dacă însă ne amintim că intrările-ieșirile sunt diverse și numeroase în cazul sistemelor încorporate, atunci alegerea unui microcontroler ar

putea fi uneori mai puțin potrivită ori chiar inacceptabilă. Prin aceasta se explică popularitatea structurilor combinate de tip MCU-FPGA/CPLD.

1.4.3 Familii reprezentative de microcontrolere

Din cele expuse în paragraful precedent se poate spune cu fermitate că MCU este alegerea potrivită în calitate de platformă pentru aplicații încorporate de nivel mic ca resurse de calcul precum și ca volum de producție.

În continuare sunt trecute în revistă doar cele mai răspândite microcontrolere.

- CISC
 - Compatibile 8051 (Intel MCS-51)
 - MOTOROLA – 8 biți
 - Hitachi H8
 - Texas Instruments TMS 370
 - Compatibile x86
- RISC
 - PIC
 - Atmel
 - ARM

INTEL 8051 [21]. Este un CISC cu arhitectură Harvard - are spații de memorie separate pentru program și date. Este produs de foarte mulți fabricanți (inclusiv Atmel și Philips) sub diferite nume de cod. Deși produs de Intel în 1980 (cu numele MCS 51), microcontrolere cu nucleu compatibile 8051 și cu facilități extinse ocupă încă un segment semnificativ de piață. Familia inițială de 8051 a fost dezvoltată în tehnologie NMOS, iar versiunile ulterioare în CMOS, în denumirea MC apărând și litera C, de exemplu 80C51. Există la ora actuală și dezvoltări ale acestei familii în sensul trecerii la o arhitectură similară (în mare parte), dar pe 16 biți, cu performanțe îmbunătățite: familia XA51 eXtended Arhitecture de la Philips și familia 80C251 (Intel). Este o arhitectură Harvard cu căi separate de date și program. Este un microcontroller pe 8 biți cu set de instrucțiuni ce permite și manipularea la nivel de bit (setare, re-setare, funcțiuni logice). Poate adresa 64K memorie de program (ROM), din care primii 4(8..32)K locali. Poate adresa 64K memorie de date externă, adresabilă doar indirect. Are 128 (256) octeți de RAM local, plus un număr de registre speciale pentru lucrul cu periferia locală. Fiecare instrucțiune se execută în 12 sau mai multe perioade de ceas. Mulți producători (cum ar fi Atmel de exemplu) au introdus și memorie flash pe capsulă. Se face multiplexare a pinilor de adrese și date, cu pini ai porturilor de IO.

Actualmente există zeci de variante produse de diverși fabricanți (Philips [21], Infineon, Atmel, Dallas-Maxim [22], Temic, Cygnal [23] etc.) precum și cantități impresionante de soft comercial sau din categoria freeware/shareware. Au apărut și dezvoltări ale acestei familii în sensul trecerii la o arhitectură similară (în mare), dar pe organizată pe 16 biți, cu performanțe îmbunătățite ca viteză de prelucrare: familia XA51 eXtended Arhitecture de la Philips și familia 80C251 (Intel). Din păcate aceste noi variante nu s-au bucurat nici pe departe de succesul bătrânului" 8051.

80C196 (Intel MCS-96). Este un microcontroler pe 16 biți făcând parte din generația treia de microcontrolere a firmei Intel. Destinat inițial unor aplicații din industria de automobile, are o arhitectură von Neumann, cu un spațiu de adresare de 64KBytes, o unitate de intrări/ieșiri numerice de mare viteză (destinată inițial controlului injecției la un motor cu ardere internă), ieșiri PWM, convertor analog numeric, timer watchdog. Există multe variante, ultimele cronologic apărute, fiind mult superioare variantei inițiale. Există și o dezvoltare recentă sub forma familiei MCS-296 (80C296).

80C186, 80C188 (Intel, AMD, ș.a.) Derivate din clasicele 8086/88 prin includerea pe același microcircuit a 2 canale DMA, 2 numărătoare/timere, un sistem de întreruperi și un controler pentru DRAM. Marele avantaj al acestor cvasi(aproape) microcontrolere (ele nu au memorie integrată!) este legat de utilizarea ca mediu de dezvoltare a unor platforme de calcul tip IBM-PC, compatibile 80x86, cu tot softul aferent.

68HC05 (Freescale [24] ex Motorola). Un microcontroler de 8 biți derivat din microprocesorul M6800 și care prezintă multe asemănări cu un alt microprocesor răspândit, la timpul său, 6502. Are un spațiu de memorie unic (64Kbytes) în care sunt plasate și registrele perifericelor (I/O, timere) cu un indicator de stivă (SP) hard pe 5biți (stivă de maxim 32 octeți !). Există variante cu memorie EEPROM, CAN, port serial, etc. Este unul din cele mai răspândite microcontrolere (comparabil cu 8051). Varianta evoluată a acestei familii este seria 68HC08 bazată pe o nouă unitate centrală de 8 biți numită CPU08, cu cea mai recentă dezvoltare sub forma seriei 68HCS08 destinată în mod special unor aplicații din industria automobilului.

PIC (Microchip [25]). Primul microcontroler din această familie (PIC1650) a apărut acum mai bine de 20 de ani pe vremea când firma era proprietatea General Instruments. Este o familie de microcontrolere care, în ultimii ani, a cunoscut o dezvoltare explozivă. Sunt disponibile actualmente sub forma a mai multe serii. In seriile respective există variante cu memorie de program de tip OTP(C) sau FLASH(F). Au fost primele microcontrolere de 8 biți cu arhitectură RISC: PIC16C5x avea un set de doar 33 instrucțiuni (Intel 8048 avea 90). Arhitectura este de tip Harvard și, ca o particularitate, dimensiunea cuvântului pentru program este de 12, 14 sau 16

biți, cuvântul de date fiind tot de 8 biți. Există foarte multe variante pentru seriile existente, unele din ele fiind caracterizate printr-un număr mic de conexiuni exterioare (pini) și în consecință dimensiuni mici, consum foarte mic, ideea de bază fiind costul redus. Cronologic, ultimul produs al firmei Microchip este seria PIC32.

Avantaje ale seriei PIC:

- PIC este un microcontroller foarte popular în lumea hobiștilor;
- Este un procesor RISC cu foarte puține instrucțiuni (la modelele cele mai performante 33 de instrucțiuni) și doar câteva registre de uz general;
- Este foarte ieftin și există și variante cu memorie flash încorporată;
- Are sistem de management al puterii astfel încât consumul mediu este foarte mic;
- Membrii familiei au 16 – 28 de pini ca regulă, cele de performanță ajung la 100;
- Programarea este relativ dificilă datorită setului de instrucțiuni restrâns.

Familii de controlere PIC

- Dispozitive cu core de bază (PIC10);
- Dispozitive cu core de performanță medie PIC12 și PIC16;
- Dispozitive PIC17, PIC18 cu core de înaltă performanță;
- Microcontrolere pe 16 biți PIC24 și dsPIC;
- Microcontrolere 32 biți PIC32 (PIC[®] MCU).

AVR (Atmel [26]). Un concurent puternic al seriei PIC este familia numită AVR, a firmei ATMEL, familie apărută în ultimii ani, care oferă variante de microcontrolere oarecum asemănătoare ca resurse cu familia PIC, la performanțe similare sau mai bune. Sunt bazate pe o arhitectură diferită, dar unitatea centrală este tot de tip RISC, cu cuvântul de date de 8 biți. La fel ca la PIC dimensiunea cuvântului de program este mai mare, fiind de 16 biți. Există cel puțin 3 sub familii mari, în ordinea complexității resurselor, acestea fiind: AT Tiny, AT90 și ATMega.

ATMEL AVR

- Setul de instrucțiuni este compatibil între diferitele variante de AVR;
- Este o arhitectură pipelined;
- Toate versiunile conțin flash intern de 1 – 8 kB și până la 512 B de RAM (există și variante scumpe cu 8 kB de RAM);
- Este o arhitectură RISC modernă împărțită în trei grupuri mari:
 - tinyAVR (mititel);
 - AVR (Classic AVR);
 - megaAVR.

- Varianta tinyAVR are un număr mai mic de pini și mai puține facilități de IO și memorie, dar are același set de instrucțiuni cu celelalte variante și același mod de organizare a memoriei interne;
- Unele AVR conțin SRAM, EEPROM, interfață cu SRAM externă, convertoare AD, multiplicator hardware, UART, USART.

AVR versus 8051

- Variantele de AVR și 8051 sunt compatibile la nivel de pini astfel că un AT89C2051 poate fi înlocuit cu AT90S1200, iar AT89C51 sau 52 cu AT90S8515;
- Singura excepție este polaritatea semnalului de intrare de Reset;
- Amândouă variantele conțin memorie flash, astfel că dezvoltarea programelor pentru prototipuri este extrem de ușoară.

Avantajele seriei AVR:

- Sunt adăugate unele dispozitive periferice;
- S-a adăugat EEPROM pentru stocarea datelor la pierderea alimentării;
- AVR conține un oscilator intern și un circuit intern de power-on reset;
- S-a adăugat un watchdog timer, ce poate fi dezactivat prin registre de setare;
- Nu se mai face divizarea cu 12 a frecvenței de la oscilatorul de ceas, astfel că seria AVR funcționează mai rapid decât seria 8051.

Dezavantajele seriei AVR:

- Setul de instrucțiuni este complet diferit față de predecesorii din seria 8051. AVR are o arhitectură RISC și astfel cere mai multă memorie de program decât 8051. Memoria de program de circa 2KB este însă în general suficientă;
- Setul de instrucțiuni aferent RAM-ului intern și perifericelor este mult restrâns. Din RAM se poate face doar move;
- Există doar 3 pointeri disponibili (X, Y, și Z) spre deosebire de 8051 care avea 9 pointeri (DPTR, R0 și R1 pdin orcare din cele 4 bănci);
- AVR este optimizat pentru programare în C. În limbaj de asamblare programul pentru CISC este mai mic decât pentru RISC.

ARM (Advanced RISC Machine [27]). Arhitectura ARM folosește arhitectura RISC standard (arhitectură load-store, moduri simple de adresare bazate doar pe conținutul registrelor sau pe informația din formatul instrucțiunii, lungime fixă a instrucțiunilor, etc.) - este de fapt o unitate centrală de 32 de biți (sau de 16/32 biți) care face parte din categoria structurilor IP ("Intellectual Property"). Sunt procesoare mici și simple. Piața lor este constituită de telefonia celulară și lumea dispozitivelor portabile, unde puterea consumată este mai importantă decât orice altceva

(ARM dotează majoritatea telefoanelor mobile digitale și agendele electronice din prezent). ARM nu fabrică procesorul, ci vinde licența proiectelor la alții pentru a construi pe bază de nuclee ARM. Pe baza acestor licențe se realizează și microcontrolere de mare performanță. Cele mai cunoscute și răspândite variante de nuclee sunt ARM7 și ARM9, cu implementările lor simplificate numite ARM7T, ARM9T (T-"Thumb"). Există cel puțin 50 de fabricanți licențiați (Atmel, Philips, TI, OKI [28], etc.). În momentul de față familia ARM acoperă peste 78% din procesoarele embedded pe 32 biti, devenind astfel una dintre cele mai prolifiche arhitecturi pe 32 biti din lume.

1.5 Concluzii la capitolul 1

A fost stabilit locul și rolul EmS în electronica modernă și domeniile principale de aplicații. De asemenea au fost cercetate direcțiile principale în dezvoltarea sistemelor încorporate.

Au fost studiați factorii de performanță a sistemelor încorporate. În urma analizei efectuate au fost puse în evidență metodele de optimizare a acestora.

A fost efectuată o analiză comparativă a platformelor hardware disponibile pentru elaborarea unității centrale a EmS. Astfel a fost stabilit că pentru spațiul de proiectare a aplicațiilor încorporate de nivel mediu sau redus atât ca complexitate cât și ca volum de realizare, sunt potrivite două alternative: în bază de microcontrolere și dispozitive FPGA/CPLD [15, 19].

2. ANALIZA COST-PERFORMANȚĂ ÎN SPAȚIUL DE PROIECTARE A DISPOZITIVELOR ÎNCORPORATE

2.1. Metrica calității sistemelor de calcul

O analiză cantitativă a unui sistem de calcul trebuie să se bazeze pe criterii bine definiți. Un criteriu crucial în acest sens este oferit de metrica calității sistemului [29-33]. Metrica calității reprezintă o mărime ponderată a performanței P și costului C , expresia matematică a acesteia fiind:

$$Q = P^{1-q}/C^q. \quad (2.1)$$

Parametrul de ponderare $q \in [0,1]$ determină dacă costul ori performanța are un impact mai mare asupra calității, fiind interpretat și ca parametru al calității. La o extremă avem cazul $Q = P$, când doar performanța contează, la alta regăsindu-se cazul $Q = 1/C$, când costurile trebuie reduse la valori minime strict impuse de aplicație. Pentru $q = 0,5$ metrica calității Q modelează raportul clasic cost-performanță.

În spațiul sistemelor încorporate accentul se pune mai mult pe cost, decât pe performanță, astfel încât putem afirma cu certitudine că pentru aplicațiile încorporate $q \geq 0,5$. Indiferent de valoarea lui q , evaluarea calității unui sistem încorporat cu relația (1) nu este posibilă fără a avea calculate (estimate) costurile. Evident, mecanismele de modelare a costurilor trebuie să fie aplicate pentru estimarea costurilor hardware pentru arhitecturi de alternativă. De asemenea, este de dorit și estimarea preventivă a dimensiunilor fizice ale dispozitivului încorporat, care este proiectat pentru o aplicație specifică.

Motivația modelării costului în procesul de proiectare

- Proiectanții EmS de nivel înalt ori a produselor comerciale de volum mare se confruntă cu problema creării rapide a prototipurilor pentru implementări cost-efective care să satisfacă:
 - Specificațiile de performanță;
 - Cerințele funcționale și temporale;
 - Constrângerile fizice.
- Costul ciclului de viață și costul lansării pe piață al sistemului sunt factori cheie ce trebuie să aibă o influență dominantă în proiectare sistemelor electronice încorporate.
- Complexitatea spațiului de proiectare al sistemelor încorporate este influențat de:
 - Existența unui număr mare de alternative în implementarea sistemelor încorporate;
 - Impunerea unor cerințe diverse, adeseori contradictorii, din partea beneficiarului.

Este evident că modelele de estimare a costului (adesea specifice producătorului pentru maximă acuratețe) sunt mult mai eficiente dacă se utilizează în proiectarea timpurie a unui sistem.

În contextul problemelor de proiectare enunțate este necesară o abordare unificată care să ia în considerare aspectele de cost pentru opțiunile *SW* și *HW* de alternativă.

Un astfel de concept încearcă să combine eforturile de proiectare într-o metodologie care să îmbunătățească costul și calitatea *Q* al sistemului încorporat.

În anii '90 a început utilizarea pe scară largă a modelelor parametrice de estimare a costului *SW* [34-36]: liniare, multiplicative, analitice, tabulare și compozite. În baza modelelor elaborate dar și a unor tehnici speciale de estimare a dimensiunii codului (PERT, ESLOC) au fost dezvoltate sisteme informatice ca, de exemplu – COCOMO, REVIC, PRICE S, SEER-SEM, SASSET [4, 31, 32].

De altă parte, modele parametrice comerciale de estimare a costului *HW* au fost dezvoltate pentru proiectarea sistemelor electronice la nivel VLSI (ASICs, FPGA):

- PRICE-M (generează estimări ale costului de dezvoltare și producere pentru circuite ASIC și module electronice);
- SEER-IC (estimează costul de dezvoltare-fabricare a circuitelor integrate și a modulelor electronice multichip)

Soluția SEER-H are o abordare în două etape pentru estimare de proiecte, posedă un mecanism similar cu extinderea proiectului (industrie și/sau companie furnizoare). În prima etapă de modelare a unui proiect, SEER pentru Hardware, Electronică și Sisteme se modelează o analogie între proiectul curent și o bază de date cu informație tehnică, program și informații despre cost, care este revizuită continuu pentru aplicarea cerințelor de estimare și soluțiilor tehnologice actuale. În a doua etapă (modelare electronică și hardware), relațiile de estimare a costului (CER) se aplică pentru estimarea costurilor în mod analog, cu scopul accesării factorilor de producere și dezvoltare specifici companiei.

Modelele și sistemele informatice existente [38, 41] au fost dezvoltate și implementate pentru sisteme electronice încorporate de nivel înalt dar și pentru produse comerciale de volum mare.

În proiectarea aplicațiilor încorporate pe segmentul de nivel mediu sau redus construirea unor modele simple de estimare a costului și a dimensiunilor fizice este deschisă pentru cercetare și prezintă interes practic, deoarece optimizarea performanței și reducerea costului are un impact semnificativ asupra succesului produsului.

În acest context, în continuare, este prezentată o cercetare a variantelor posibile de organizare și funcționare a sistemelor EmS și analiza calitativă a structurilor propuse. După aceasta este propus și dezvoltat un model (mecanism) pentru estimarea rapidă a costurilor

hardware a sistemelor încorporate proiectate pentru aplicații pe segmentul de nivel mediu sau redus ca complexitate și ca volum de realizare. Având costurile estimate, sistemul încorporat poate fi evaluat inclusiv în funcție de criteriul (1).

2.2. Elemente de organizare și funcționare a sistemelor încorporate

2.2.1. Arhitectura virtuală a unui sistem încorporat

Componentele structurale ale unui sistem încorporat sunt similare unui sistem de calcul de uz general. Deosebiriile țin de natura și dimensiunea spațiului de I/O. Intrările-ieșirile sunt mult mai diverse și mai numeroase în cazul sistemelor încorporate decât în cazul unui sistem de calcul de uz general. Rezultă că bazele teoretice de organizare și funcționare a unui EmS sunt, în esență, similare principiilor de organizare și funcționare a unui sistem de calcul de uz general [7, 8].

Cu toate acestea în proiectarea unui sistem încorporat trebuie luate în considerație diferite cerințe specifice impuse asupra sistemului [7-9, 38]. Există o mare diversitate de sisteme încorporate, care realizează funcții foarte diferite. De aceea este greu de găsit criterii clare de clasificare a sistemelor EmS. din cele expuse rezultă o varietate largă de abordări și soluții arhitecturale în spațiul de proiectare a sistemelor încorporate.

Lucrarea dată este o încercare de structurare a diverselor abordări în spațiul de proiectare a aplicațiilor încorporate de volum mediu sau redus, deoarece aceasta este caracteristica unei pieți mici. Este însă și cazul aplicațiilor EmS pe nișe înguste și foarte specifice. Necesitatea studiilor de acest gen rezultă din necesitatea alegerii variantei de implementare hardware, problemă ce trebuie rezolvată rapid și corect la etapa de proiectare a unui sistem EmS.

În figura 2.1 este ilustrată arhitectura virtuală a unui sistem încorporat. Trebuie notat că conform definiției clasice un sistem încorporat nu include calculatoare de uz general, fiind înglobat într-un dispozitiv special. Asta nu exclude însă posibilitatea funcțională a unui EmS de a comunica cu un calculator de uz general.

1. Procesare. Bloc ce reprezintă nucleul fiecărui dispozitiv elaborat. și îndeplinește următoarele funcții:

- efectuarea operațiilor aritmetice și logice asupra operanzilor ce îi sunt furnizați, prelucrarea informației aplicând diverse metodici și formule de calcul;
- efectuează operațiuni de dirijare și control;
- recepționează semnalele de comandă de la tastatură;
- memorizează parametrii setați de utilizator și regimul de lucru;
- transmite semnalele de comandă blocurilor funcționale periferice;

2. I/O Analog-Numeric. Dispozitivele de interacțiune cu mediul în procesul de control pe care îl conduce. Dispozitivele I/O implementează funcții speciale degrevând UC de toate aspectele specifice de comandă și control în funcția respectivă. Există o varietate mare de dispozitive I/O; dispozitivele I/O conduc operații generale de comunicație (transfer serial sau paralel de date), funcții generale de timp (numărare de evenimente, generare de impulsuri), operații de conversie analog/numerică, funcții de protecție, funcții speciale de comandă etc. O parte din resurse acoperă funcțiile de control propriu-zis, iar alta asigură funcțiile necesare aplicațiilor în timp real (sistemul de întreruperi, timer).

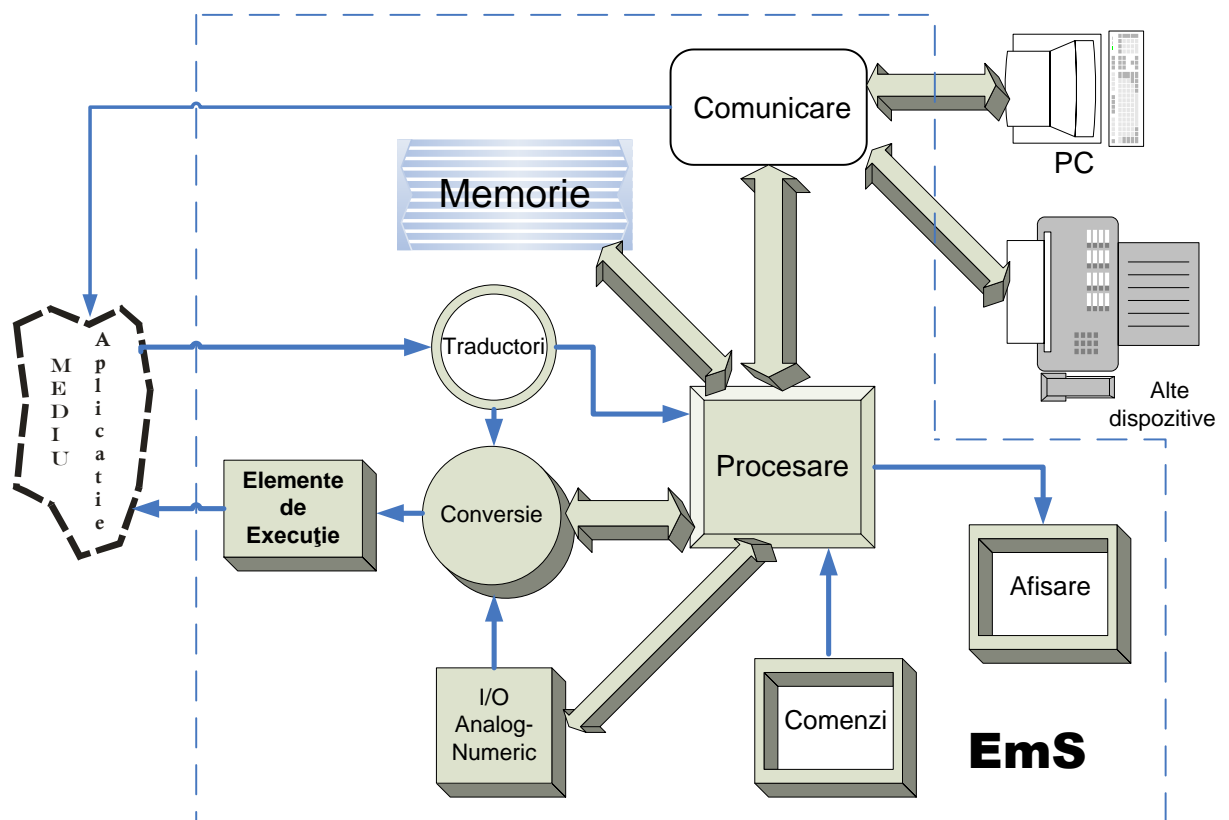


Fig.2.1. Arhitectura virtuală a unui sistem încorporat.

3. Memorie. MC folosesc diferite tipuri de informații, care sunt stocate în diferite tipuri de memorii. Ca regulă, este vorba de memoria volatilă (RAM, OTP, ROM) și memoria nevolatilă (EEPROM, FLASH). Instrucțiunile care controlează funcționarea MC trebuie stocate într-o memorie nevolatilă, unde informațiile se păstrează și după oprirea și repornirea sursei de alimentare. Rezultatele intermediare și variabilele sunt înscrise într-o memorie volatilă, la aceasta este important ca scrierea/citirea sa se efectueze rapid și simplu în timpul funcționării.
4. Comunicație. Pentru a realiza un dispozitiv desăvârșit din punct de vedere tehnic care este în stare să îndeplinească maximum de funcții cerute de utilizator, este necesar să se asigure

comunicația sigură cu periferiile precum PC și alte dispozitive. De regulă se folosește comunicația serie (utilizarea unui număr redus de pini la viteză mică) și paralelă (un număr mare de pini la viteză maximă de transmitere/recepție). Pot fi specificate:

- Comunicația paralelă. Poate fi asigurată de controler sau de circuite specializate 8-16biți;
- Serială sincronă (SPI, I2C, TWI);
- Serială asincronă (USB, USART, 1WIRE)

5. Traductori. Traductorii se clasifică: digitali și analogici. Pot fi specificați senzori de temperatură, de curent, de tensiune, de câmp magnetic, de lumină, de gaze, de poziție, radiație, viteză, accelerație, presiune, nivel (lichid) e.t.c
6. Conversie. Convertoarele se utilizează pentru conversia semnalelor/datelor din analog în digital și invers. Conversia se efectuează direct în interiorul microcontrolerului (prin metode soft sau hard) sau utilizând circuite specializate exterioare 1-16-32biți.
7. Elemente de execuție. Sunt componente sau circuite prin intermediul cărora are loc interacțiunea dispozitivului cu mediul de aplicație.
8. Comenzi. Cu ajutorul blocului dat se efectuează controlul microcontrolerului (selectarea regimurilor, modificarea parametrilor de lucru). Reprezintă un set de butoane cu ajutorul cărora se programează regimurile de lucru ale dispozitivului, se execută navigarea prin meniul de comenzi a dispozitivului. De asemenea poate fi realizat în forma unei console de comandă de la distanță prin toate metodele cunoscute în prezent.
9. Afișare. Reprezintă un ecran LCD sau Grafic (în cazul resurselor limitate poate fi un set de leduri), cu ajutorul cărora se vizualizează regimurile de lucru, parametrii setați, timpul de funcționare a dispozitivului.
10. Mediu Aplicație. Reprezintă un numeros set de circuite, aplicații (direct sau prin intermediul unor scheme speciale de dirijare, în cazul circuitelor de putere) precum și dispozitive desinestătătoare.

EmS poate exista desinestătător cât și în cadrul unor sisteme mai complexe delegând acestora unele funcții, precum și să interacționeze cu alte dispozitive:

11. PC. Legătura cu PC se face în cazul când este necesar de delegat careva operațiuni: calcul, procesare, prelucrare a masivelor mari de date, dirijarea cu multiple dispozitive în bază de microcontroler integrate într-un sistem complex.
12. Alte dispozitive. Ca exemplu pot servi: imprimante, scanere, rețea de telefonie fixă/mobilă, dispozitive în bază de microcontroler ce sunt integrate într-un sistem integrat.

2.2.2. Dispozitive încorporate: abordări arhitectural-structurale.

În figura 2.2 este prezentată cea mai simplă structură posibilă a unui SI în baza de microcontroler și constă din trei componente. Nucleul structurii o reprezintă unitatea centrală care prelucrează semnalele de intrare și generează semnale de ieșire corespunzătoare, în cazul dat recepționează semnale de la panoul de comandă și formează semnale corespunzătoare pentru mediul de operare (poate fi: un led, tranzistor, motor, circuit desinestătător s.a.).

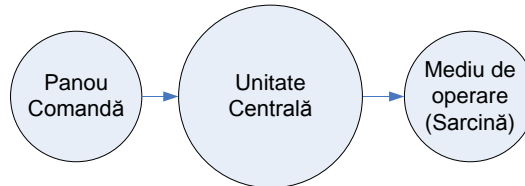


Fig.2.2. Structura virtuală I

Structura din figura 2.3 este completată cu panoul de afișare necesar în aplicațiile în care este necesar de urmărit procesele în timp real sau de introdus unele comenzi și de vizualizat deplasarea prin meniu.

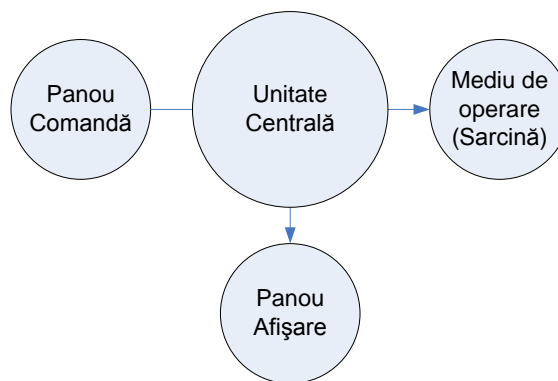


Fig.2.3. Structura virtuală II

Figura 2.4 reprezintă o structură în care aplicația este dotată cu senzori digitali sau analogici conectați nemijlocit la unitatea centrală care are încorporați algoritmi și hardul pentru a prelucra semnalele respective.

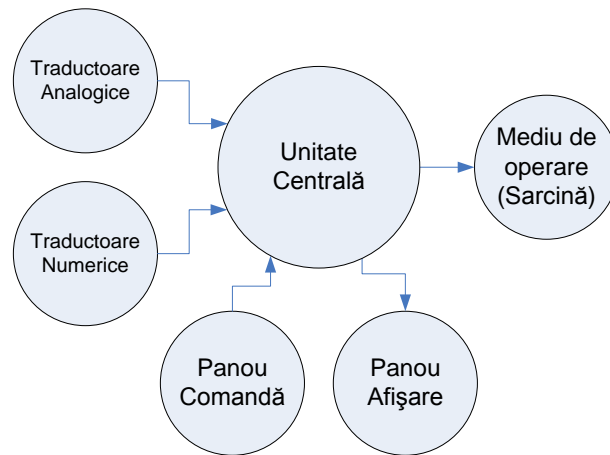


Fig.2.4. Structura virtuală III

În figura 2.5 prezentată în continuare semnalele de la senzorii analogici și digitali sunt aplicați la UC prin intermediul unor convertoare: convertor numeric analog și convertor analog numeric. Acest procedeu se aplică atunci când unitatea centrală de prelucrare nu are aceste convertoare încorporate sau soft corespunzător.

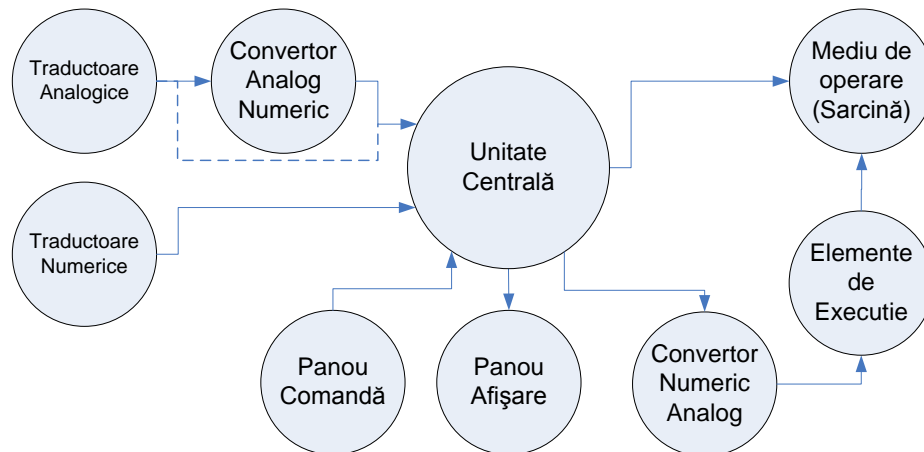


Fig.2.5. Structura virtuală IV

Figura 2.6 reprezintă o dezvoltare a celor precedente. Este dotată suplimentar cu un panou de comandă de la distanță (poate fi prin cablu, IR, unde radio etc.), cu intrări numerice și analogice utilizate pentru transfer serial sau paralel de date, funcții generale de timp: numărare de evenimente, generare de impulsuri și asigură funcțiile necesare aplicațiilor în timp real :sistem de întreruperi, timer.

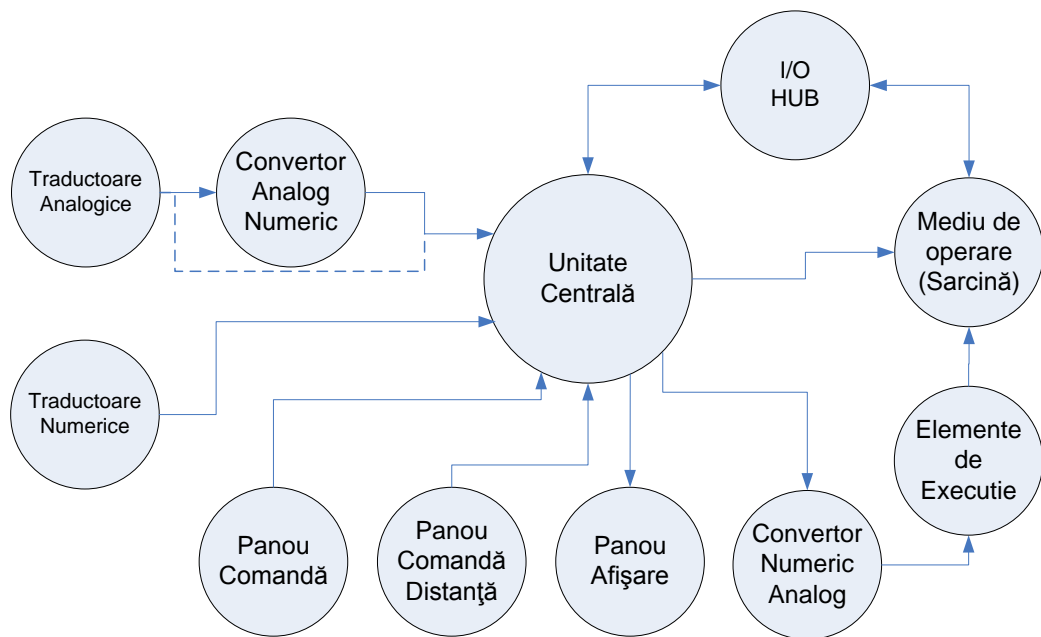


Fig.2.6. Structura virtuală V

În figura 2.7 structura SI este dotată suplimentar cu memorie exterioară. Se utilizează în cazul în care memoria proprie a UC este insuficientă. În prezent dezvoltarea microcontrolerelor a ajuns la așa nivel că memoria interioară acoperă practic toate necesitățile utilizatorului, cu toate acestea crește și complexitatea aplicațiilor.

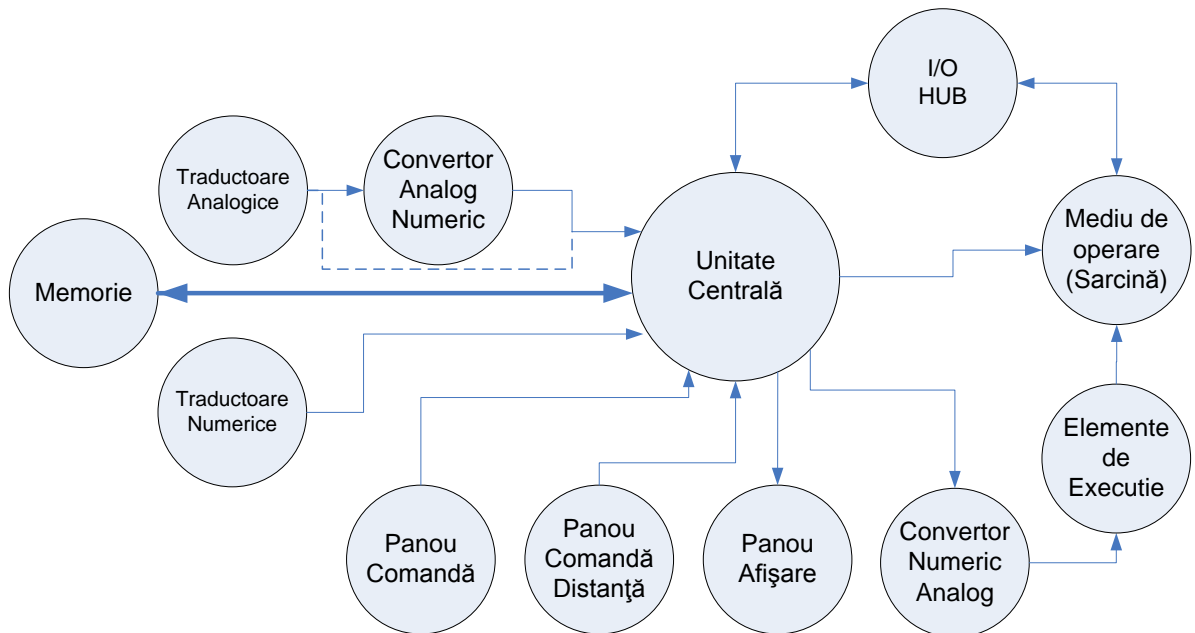


Fig.2.7. Structura virtuală VI

În schema prezentată în figura 2.8 a fost introdus un bloc nou care asigură comunicația. Aplicațiile performante necesită comunicație sigură cu PC, dispozitive periferice, alte SI. Poate fi întocmită prin: comunicație paralelă asigurată de controler sau de circuite specializate 8-16biți; serială sincronă (SPI, I2C, TWI); serială asincronă (USB, USART, 1WIRE)

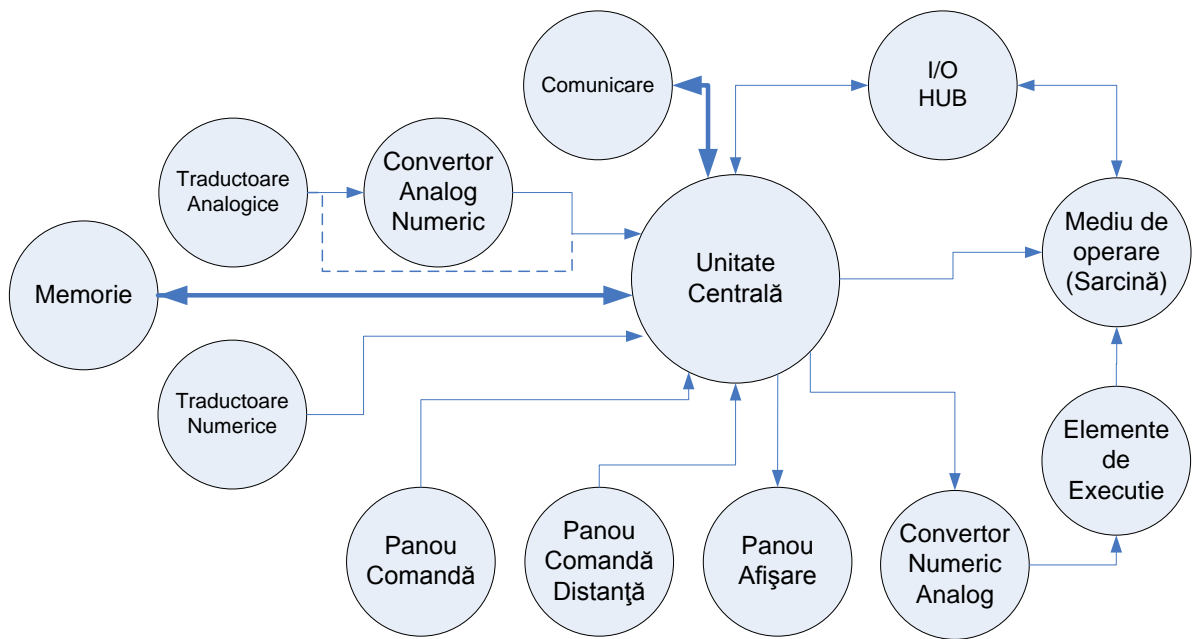


Fig.2.8. Structura virtuală VII

Figura 2.9 reprezintă structura virtuală complexă a unui Dispozitiv Încorporat. Comparativ cu precedentă a fost introdus un bloc suplimentar de izolare galvanică/circuit de putere pentru a avea posibilitatea de a comanda cu orice tip de sarcină din mediul de aplicație.

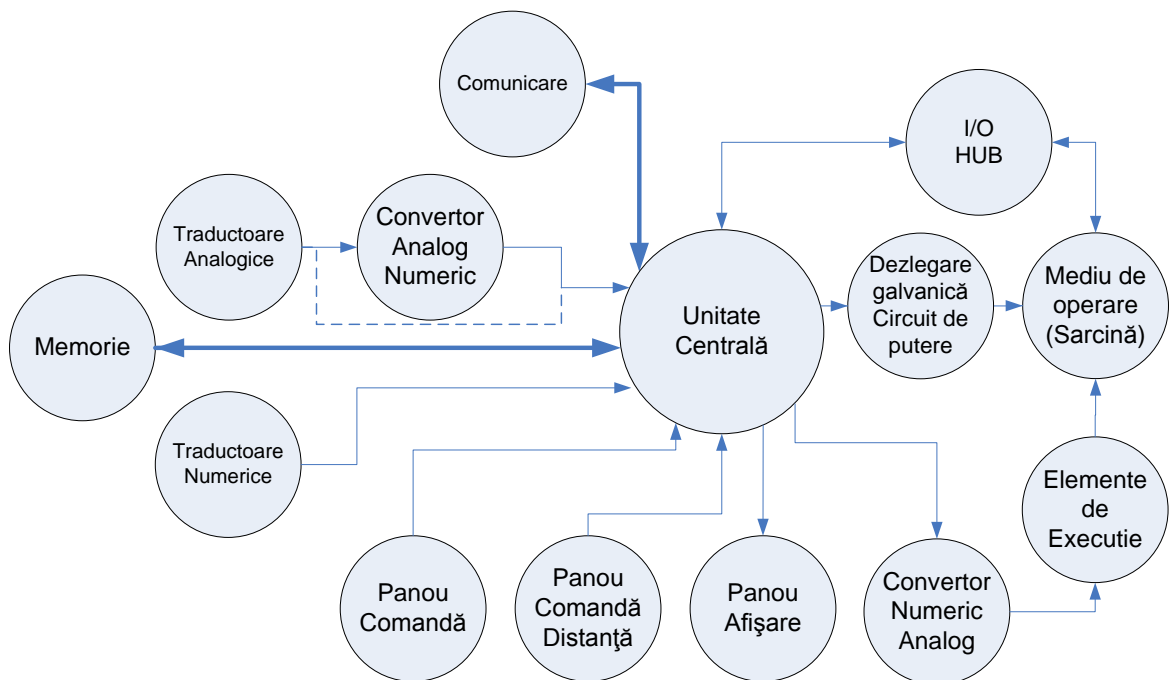


Fig.2.9. Structura virtuală VIII

În continuare sunt prezentate câteva structuri EmD ce pot fi considerate generice. Structurile funcționale din figurile 2.2 și 2.3 reflectă două structuri valabile pentru aplicații simple și pot fi prezentate fizic prin formele prezentate în figura 2.10 și 2.11 respectiv [39].

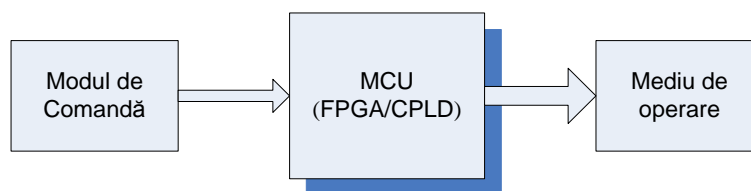


Fig.2.10. EmD în configurație minimă. Structura funcțională I

Deoarece ambele structuri sunt elementare și conțin un număr redus de elemente, cerințele înaintate față de UC sunt relativ mici. Reieșind din aceste considerente, în ambele structuri UC poate fi realizată fie în bază de MCU, fie în bază de circuite FPGA/CPLD. Atât MCU cât și FPGA/CPLD vor fi circuite de cost redus, de aceea costurile totale și performanța acestor structuri vor fi comparabile indiferent de circuitul în baza căruia e realizat UC. Oricum, alegerea MCU este de preferat sub aspect de cost, iar alegerea FPGA/CPLD – sub aspectul vitezei de lucru.

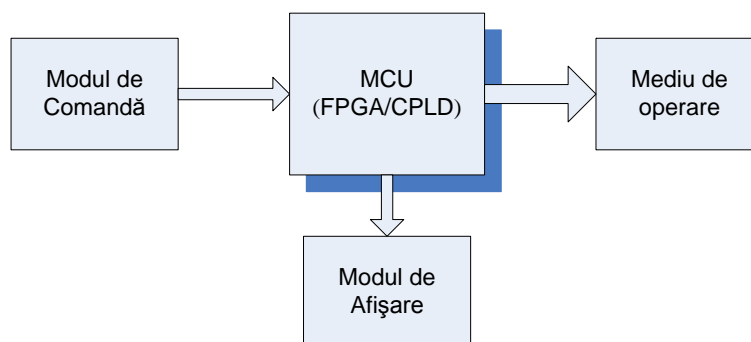


Fig.2.11. EmD cu modul de afișare. Structura funcțională II

Structura funcțională prezentată în figura 2.12 presupune prezența unor traductoare analogice și numerice. Reieșind din aceasta, structura funcțională necesită căi de conversie. Convertorul analog-numeric (ADC) e prezentat cu linie întreruptă, deoarece este necesar obligatoriu doar în cazul alegerii FPGA. În cazul alegerii MCU conversia ca regulă este încorporată și se utilizează în cazul în care satisface cerințelor impuse.

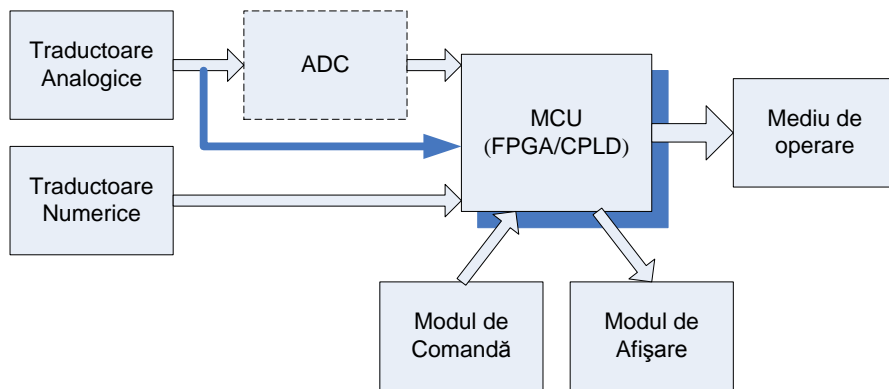


Fig.2.12. EmD cu canal de conversie analog-numerică. Structura funcțională III

Circuitul ADC utilizat extern poate fi secvențial sau paralel în cazul alegerii FPGA. În cazul realizării UC în bază de MCU e preferabilă conversia secvențială, în caz contrar se poate ajunge în situația când nu sunt suficienți pini, în acest caz impunându-se o multiplexare ceea ce complică structura și afectează fiabilitatea EmD. Ca și în cazurile precedente pot fi utilizate ambele variante cu următoarea precizare: la viteze de execuție și conversie mici trebuie utilizat MCU, la viteze sporite - FPGA.

În cazul când aplicația încorporată solicită un spațiu extins de intrare-ieșire numărul redus de pini de care dispune MCU implică o problemă care poate fi rezolvată combinând realizarea UC pe microcontroler cu utilizarea unui CPLD pentru acoperirea spațiului de intrare-ieșire. Varianta enunțată apare în structura din figura 2.13a. Ca rezultat costurile structurii vor crește din contul CPLD.

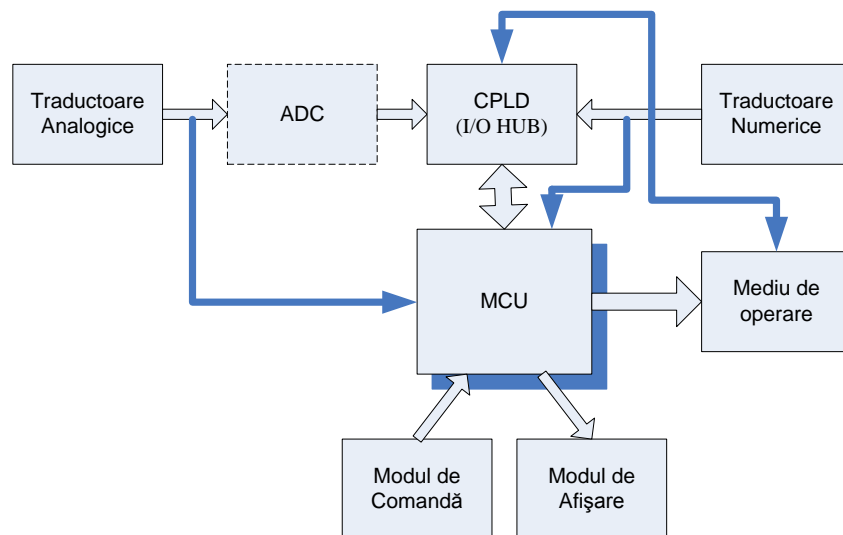


Fig.2.13a. EmD cu spațiu extins de intrare-ieșire. Structura funcțională IVa

În structura de alternativă din figura 2.13b unitatea centrală este realizată în bază de FPGA/CPLD, astfel fiind asigurată acoperirea „automată” a spațiului extins de intrare-ieșire, determinând și o fiabilitate mai înaltă.

Odată cu creșterea vitezei de execuție în aplicații de timp real, structura pe bază de MCU ar putea fi nepotrivită la un moment dat. Soluția de alternativă - structura pe bază de FPGA/CPLD.

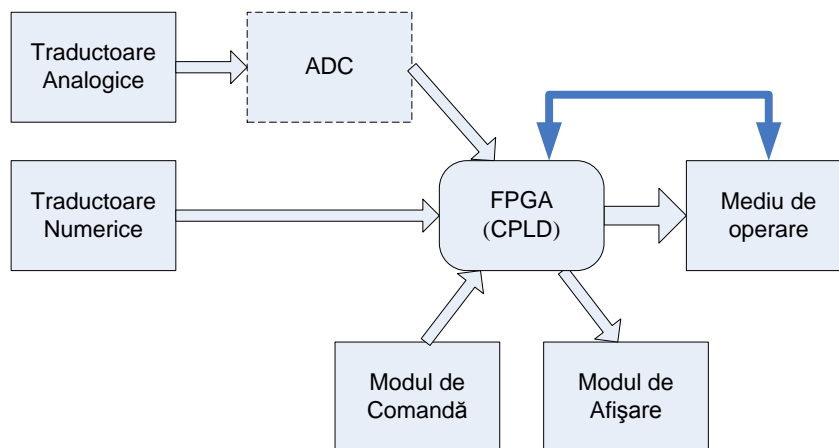


Fig.2.13b. EmD cu spațiu extins de intrare-ieșire. Structura funcțională IVb

Sporirea numărului de intrări permite implicit și mărirea numărului de ieșiri, de aceea în ambele structuri mediul de operare este conectat la UC: prin intermediul CPLD în cazul structurii pe MCU și direct în cazul structurii pe dispozitiv FPGA.

Structurile prezentate în figurile 2.14a și 2.14b sunt similare celor din figurile 2.13a și 2.13b cu excepția unui circuit de memorie locală (LMU). În cazul alegerii MCU microcontrolerul poate oferi o cantitate de memorie încorporată și numai în cazul aplicațiilor relativ complexe este necesar un circuit exterior (dreptunghi cu linie întreruptă). În cazul alegerii FPGA afirmația precedentă rămâne valabilă, deoarece dispozitivele FPGA conțin memorii încorporate. Dacă însă UC se va realiza cu un dispozitiv CPLD, apelarea la un circuit de memorie locală devine obligatorie.

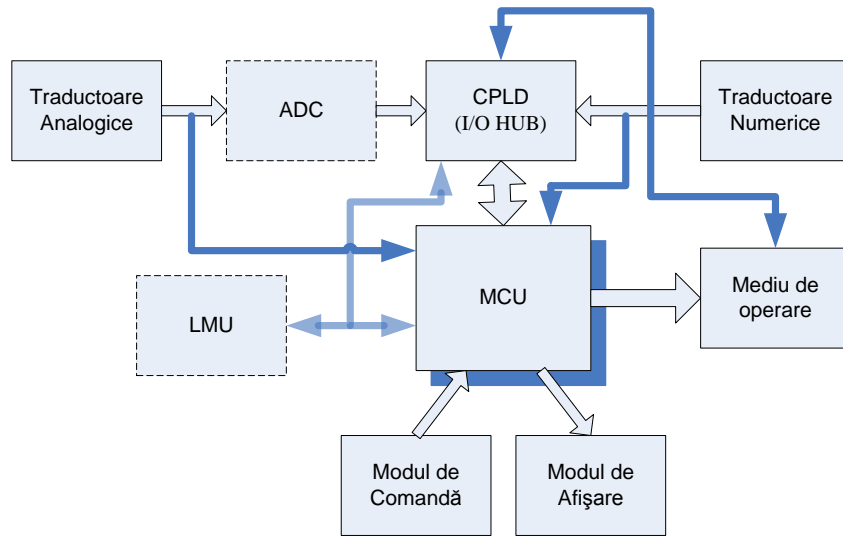


Fig.2.14a. EmD cu memorie locală în bază de MCU. Structura funcțională Va

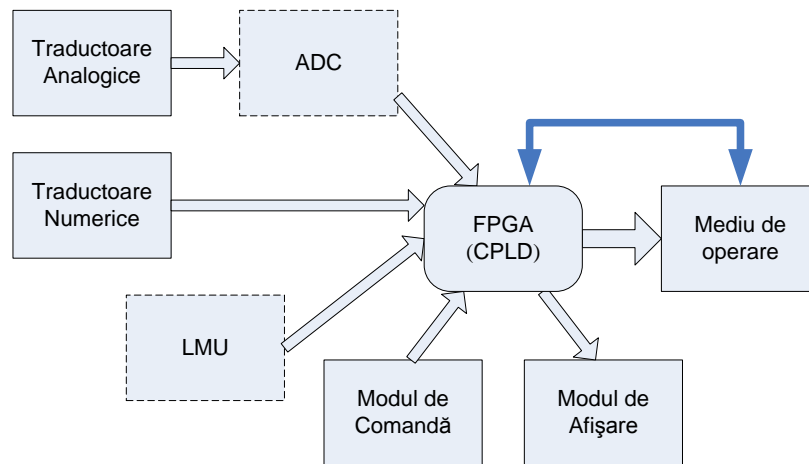


Fig.2.14b. EmD cu memorie locală în bază de FPGA/CPLD. Structura funcțională Vb

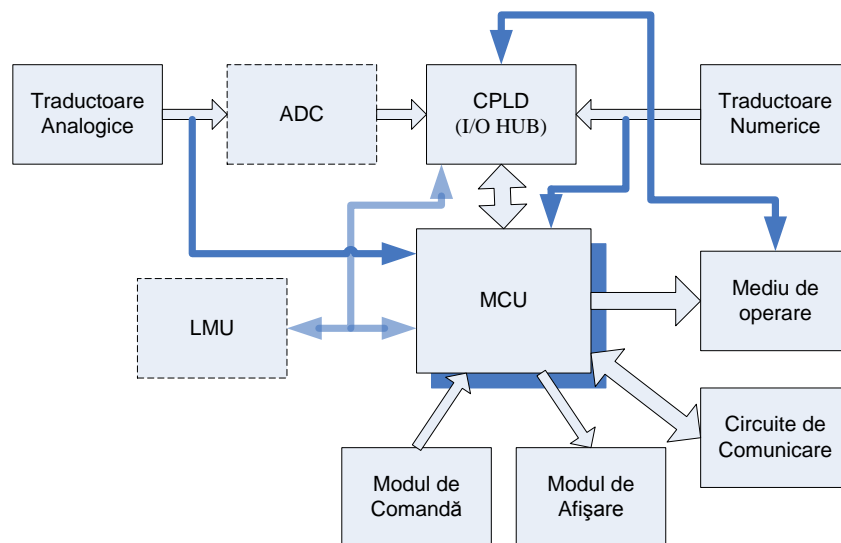


Fig.2.15a. EmD cu circuite de comunicare în bază de MCU. Structura funcțională VIa

Completând structurile din figurile 2.14a și 2.14b cu circuite de comunicație, obținem două structuri cu funcționalități sporite față de precedentele datorită capacității de comunicație.

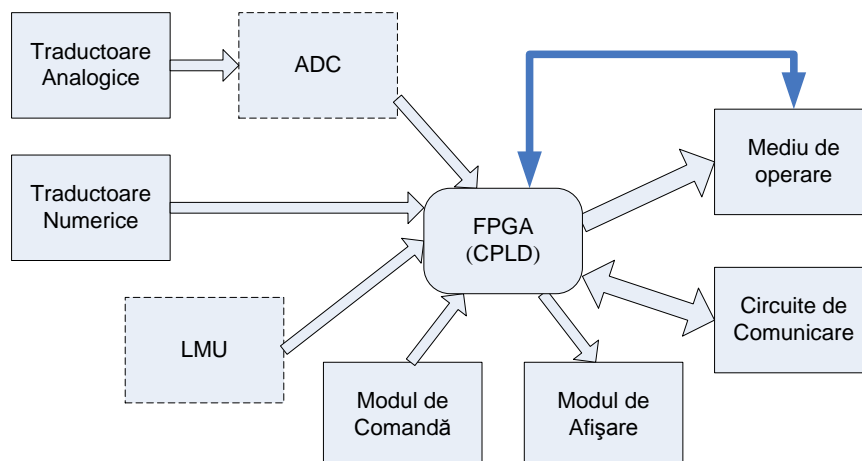


Fig.2.15b. EmD cu circuite de comunicare în bază de FPGA/CPLD. Structura funcțională V1b

Pentru structurile cu spațiu extins de intrare-ieșire problema costurilor devine mai sofisticată și necesită o analiză specială.

2.3. Analiza factorilor de cost pentru aplicații încorporate de nivel mediu

Vom efectua în continuare o analiză a factorilor de cost în spațiul de proiectare a dispozitivelor încorporate, luând în considerație segmentul aplicațiilor de nivel mediu, atât ca complexitate, cât și ca volum de realizare.

În proiectarea dispozitivelor încorporate ca punct de referință servesc, în primul rând, caracteristicile clasei particulare de aplicații. Arhitectura unui dispozitiv EmD poate fi eventual eficientă într-o gamă largă de algoritmi. Este însă extrem de important, mai mult chiar, este obligatoriu ca acea arhitectură să asigure performanța impusă la costuri minime. În general, costurile dispozitivelor încorporate trebuie analizate cu prioritate. La prima vedere nu pare a fi o problemă. Realitatea însă e ceva mai complexă.

Costul absolut măsurat în prețuri curente se modifică în fiecare an. Din această cauză este mult mai util de a defini costul unui dispozitiv în termenii unor asemenea parametri, care influențează costurile respective. Acești parametri includ parametri fizici, cum ar fi aria capsulei circuitului integrat, numărul de circuite, aria suprafeței cablajului imprimat, numărul de pini, consumul de putere toți aceștia derivând dintr-o realizare arhitecturală. De asemenea, trebuie considerați factorii asociați cu proiectarea-dezvoltarea dispozitivului, cum ar fi dimensiunea și complexitatea softului ce trebuie elaborat, etc.

În spațiul de proiectare a aplicațiilor încorporate pot fi puși în evidență câțiva factori, care caracterizează un dispozitiv încorporat și influențează costurile acestuia figura 2.16.

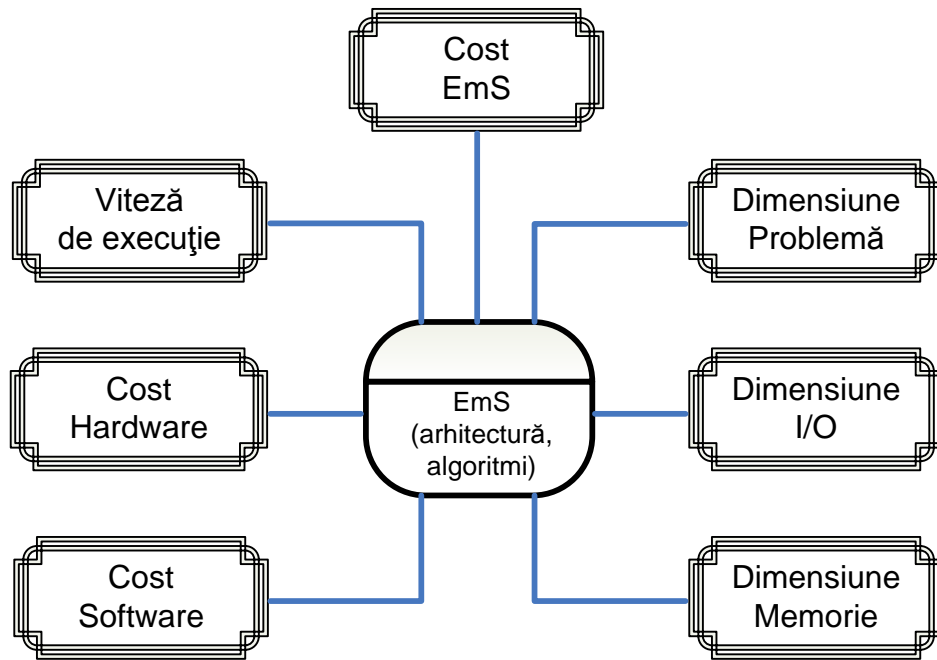


Fig.2.16. Factorii cost-performanță ai unui dispozitiv încorporat

Factorii de bază care influențează costul și performanța EmD, indiferent de aplicație sunt:

- *Viteza de execuție UC (F)* – este determinată de organizarea, arhitectura și frecvența de clock a nucleului EmD.
- *Cost Hardware (C_H)*. Costul hardware include costul tuturor componentelor electronice, cablajului și altor componente EmD.
- *Cost Program (C_p)*. Costul aplicației în întregime este asociat de asemenea de costul programului, precum și de perspectivele de dezvoltare a acestuia în vederea scăderii timpului de execuție a instrucțiunilor.
- *Dimensiunea Problemei (s)*. Este volumul de muncă sau numărul de puncte de date utilizate pentru a rezolva o anumită problemă. Dimensiunea problemei este direct proporțională cu timpul de execuție $T(s, I)$
- *Dimensiunea I/O (d)*. Cerințele înaintate către intrări/ieșiri în vederea asigurării deplasării datelor și a rezultatelor în timpul rulării aplicației.
- *Dimensiunea Memoriei (m)*. Cantitatea de memorie (în octeți sau cuvinte) utilizată în executarea programului. Este de notat ca cerințele înaintate față de memorie sunt date de volumul sarcinii, spațiul de program, algoritmi utilizați și de structura datelor utilizate.

Ținând cont de figura 2.16, costurile unui EmD pot fi exprimate prin: costurile pentru proiectare - dezvoltare $C_{proiectare}$, costurile hardware C_H și costurile software C_p [40, 41], astfel rezultând expresia:

$$C_{EmS} = C_{proiectare} + C_H + C_P. \quad (2.2)$$

Un model nu poate lua în considerație toți factorii ce influențează costurile, însă poate pune în evidență cei mai importanți dintre aceștia, în special când sunt comparate două arhitecturi apropiate. Accentul a fost pus pe deosebiri și s-a analizat cum acestea afectează factorii de cost, eventual făcând diferența dintre două arhitecturi. Fiecare abordare arhitecturală are avantaje și dezavantaje, care afectează costul arhitecturii. În continuare vom încerca să estimăm decizia de proiectare în spațiul considerat prin prisma influenței acesteia asupra parametrilor de cost.

În calitate de abordări de alternativă se vor examina două arhitecturi: pe bază de microcontroler figura 2.17, respectiv dispozitiv (re)configurabil figura 2.18.

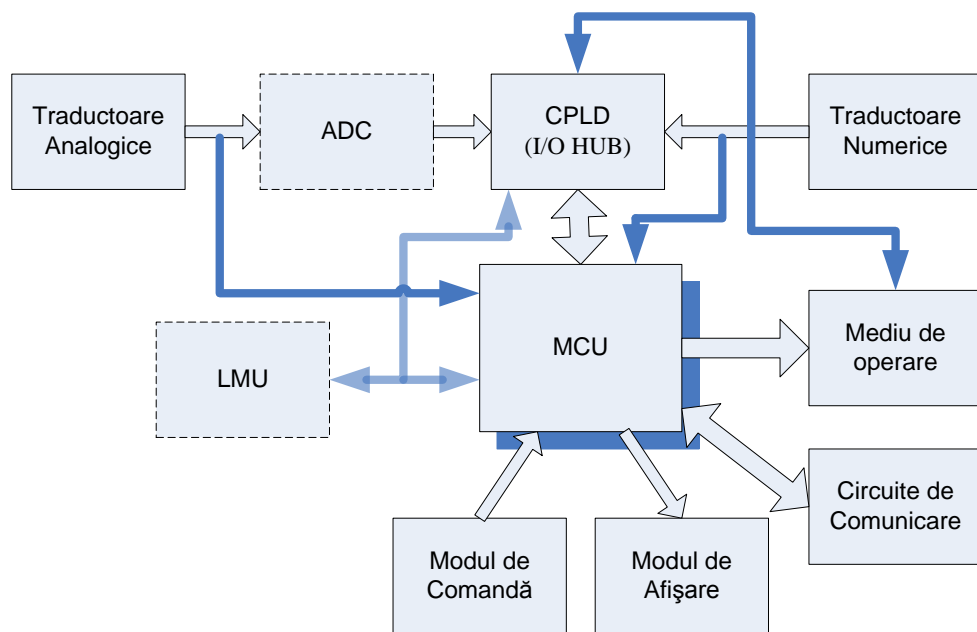


Fig.2.17. Dispozitiv încorporat pe bază de microcontroler

Presupunând că suma costurilor $C_{proiectare}$ și C_P este aproximativ identică pentru ambele arhitecturi luate în considerare, vom pune accent pe componenta de cost hardware C_H , care reprezintă un cost recurent, ce se repetă pentru fiecare unitate de produs. În acest caz variația costului dispozitivului încorporat va fi determinată de diferențele arhitecturale ale celor două realizări. Pentru a explica acest fapt costurile hardware se vor diviza în două părți: fixe și variabile. Astfel, relația pentru costurile hardware se va exprima prin suma:

$$C_H = C_H^{fix} + C_H^{var}. \quad (2.3)$$

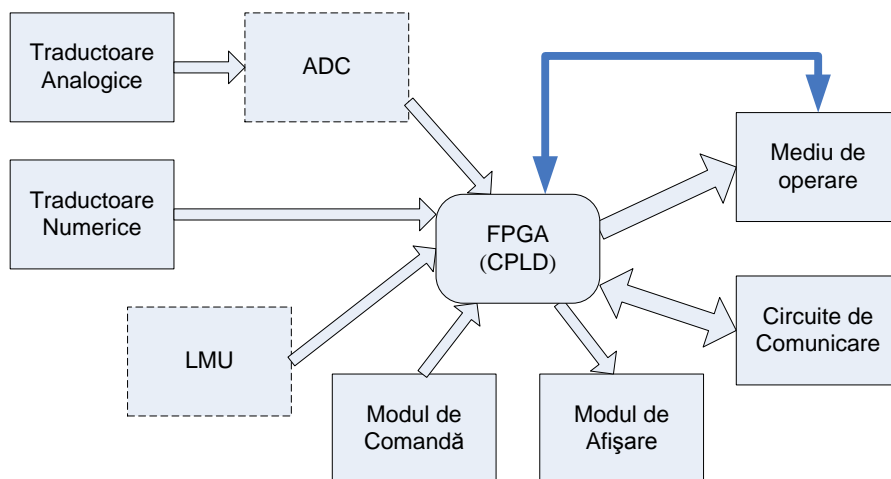


Fig.2.18. Dispozitiv încorporat pe bază de dispozitiv (re)configurabil

Primul termen în relația (2.3) reprezintă costul componentelor hardware care sunt comune pentru ambele realizări arhitecturale și poate fi specificat în felul următor:

$$C_H^{fix} = C_{TA} + C_{TN} + C_{COM} + C_{panou} + C_{CAB}, \quad (2.4)$$

cu notațiile: C_{TA} - costul traductoarelor analogice; C_{TN} - costul traductoarelor numerice; C_{COM} - costul circuitelor de comunicație; C_{panou} - costul componentelor ce alcătuiesc panoul de dirijare și de afișare; C_{CAB} - costul componentelor ce formează blocul de alimentare, carcasa produsului, etc.

Al doilea termen în relația (2.3) reprezintă costul componentelor hardware ce diferă de la o arhitectură la alta și poate fi specificat astfel:

$$C_H^{var} = C_{UC} + C_{CONV} + C_{MEM} + C_{I/O} + C_{PCB}, \quad (2.5)$$

cu notațiile: C_{UC} - costul unității centrale de prelucrare; C_{CONV} - costul circuitelor de conversie; C_{MEM} - costul circuitelor de memorie locală; $C_{I/O}$ - costul circuitelor de acoperire a spațiului de intrare/ieșire; C_{PCB} - costul de fabricație a cablajului imprimat exprimat pe unitate de produs.

După cum a fost menționat mai sus variația costurilor EmD va fi determinată în special de expresia (2.5). Pentru un dispozitiv încorporat construit pe bază de microcontroler (fig.2.17) expresia (2.5) se va transforma, luând forma:

$$C_H^{var} = C_{MCU} + k_1 C_{CONV} + k_2 C_{MEM} + C_{CPLD} + C_{PCB}, \quad (2.6)$$

în care coeficienții k_1 și k_2 au următoarea semnificație:

$$k_1 = \begin{cases} 0, & \text{daca conversia este incorporata sau lipseste} \\ \overline{1, \max} & 1 - \text{convector extern} \\ & \max - \text{este functie de numarul de biti; rata de conversie} \end{cases};$$

$$k_2 = \begin{cases} 0, & \text{daca memoria este incorporata sau lipseste} \\ \overline{1, \max} & 1 - \text{memoria este externa} \\ & \max - \text{este functie de dimensiunea problemei} \end{cases}.$$

Pentru un dispozitiv încorporat construit pe bază de dispozitiv (re)configurabil (fig.2.18) expresia (2.5) se va transforma, luând următoarea formă:

$$C_H^{\text{var}} = C_{FPGA/CPLD} + k_1^1 C_{CONV} + k_2 C_{MEM} + C_{PCB}, \quad (2.7)$$

în care semnificația coeficientului k_2 este identică cu cea din expresia (6), iar pentru k_1^1 avem:

$$k_1^1 = \begin{cases} 0, & \text{daca conversia lipseste} \\ \overline{1, \max} & 1 - \text{convector extern} \\ & \max - \text{este functie de numarul de biti; rata de conversie} \end{cases}.$$

Valoarea numerică a costurilor de bază $C_{FPGA/CPLD}$, C_{MCU} , C_{CONV} , și C_{MEM} poate fi luată din lista de prețuri a producătorilor de circuite integrate, iar gama de variație a coeficienților k_1 , k_1^1 și k_2 poate fi estimat, reieșind din clasa particulară de aplicații.

În spațiul de proiectare a dispozitivelor încorporate costul cablajului imprimat pe unitate de produs reprezintă o componentă deloc de neglijat. În continuare vom dezvolta un model, care permite estimarea rapidă a costului cablajului imprimat la etapa inițială de proiectare a EmD. După cum se cunoaște, costul de fabricație a cablajului imprimat este funcție de: numărul de straturi ale cablajului imprimat; suprafață (contează suprafața totală, adică volumul comenzii în dm^2); masca de protecție (da/nu); marcarea elemente (da/nu); confecționarea fotoșabloanelor în dependență de suprafața în dm^2 ; etc.

Costul cablajului imprimat pe fiecare unitate EmD poate fi exprimat ca produsul dintre suprafața cablajului imprimat și costul unui dm^2 de cablaj:

$$C_{PCB} = c \cdot S_{PCB}. \quad (2.8)$$

În relația (2.8) $c = f(S_{Total})$ este costul unui dm^2 de cablaj imprimat, funcție de suprafața totală a comenzii, iar S_{PCB} reprezintă aria suprafeței cablajului imprimat pe fiecare unitate de produs. Volumul sau suprafața totală a comenzii se va obține prin înmulțirea ariei suprafeței plachetei de cablaj imprimat pe unitate de produs cu numărul V_{un} de unități fabricate:

$$S_{Total} = S_{PCB} \cdot V_{un}. \quad (2.9)$$

Notând cu S_{\min} suprafața cablajului imprimat indispensabilă pentru realizarea arhitecturii EmD în configurație minimală, și ținând cont de limitarea spațiului I/O în varianta minimală, se poate scrie expresia pentru aria suprafeței cablajului imprimat:

$$S_{PCB} = S_{\min} + S_{I/O} , \quad (2.10)$$

unde $S_{I/O}$ reprezintă suprafața cablajului imprimat destinată extinderii spațiului de intrare/ieșire al dispozitivului încorporat și, implicit, posibilităților EmD.

Aria suprafeței $S_{I/O}$ poate fi determinată, reieșind din dimensiunile geometrice ale capsulei dispozitivului CPLD și suprafața necesară pentru trasarea firelor de conexiune ale acestuia cu alte elemente ale circuitului electric:

$$S_{I/O} = r \cdot S_{CPLD} , \quad (2.11)$$

unde r este un coeficient de rutare, care poate fi determinat din considerente practice.

Al doilea termen în expresia (2.11) reprezintă aria capsulei dispozitivului CPLD dată de relația

$$S_{CPLD} = L_{CPLD}^2 , \quad (2.12)$$

în care, L_{CPLD} este lungimea laturii capsulei dispozitivului.

Pentru a estima lungimea laturii se va recurge la expresia:

$$L_{CPLD} = \sqrt{\frac{D_{I/O}}{D_{I/O \text{ Baza}}}} \cdot L_{baza} , \quad (2.13)$$

care a fost obținută pe cale empirică. În această relație $D_{I/O}$ indică dimensiunea spațiului extins de I/O sub forma numărului de intrări/ieșiri necesare în aplicația încorporată; $D_{I/O \text{ Baza}}$ este un număr, care fixează dimensiunea spațiului I/O de bază și este luat cu referință la un dispozitiv real capabil să acopere un spațiu minim de I/O, iar L_{baza} reprezintă valoarea numerică reală a laturii dispozitivului de bază.

Din relațiile (2.11), (2.12) și (2.13) rezultă expresia:

$$S_{I/O} = r \cdot \left(\sqrt{\frac{D_{I/O}}{D_{I/O \text{ Baza}}}} \cdot L_{baza} \right)^2 , \quad (2.14)$$

cu care se poate aproxima aria suprafeței cablajului imprimat introdusă prin extinderea spațiului de intrare/ieșire al dispozitivului încorporat. Ținând cont de relația (2.14), obținem în final:

$$S_{PCB} = S_{\min} + r \cdot \frac{D_{I/O}}{D_{I/O \text{ Baza}}} \cdot L_{baza}^2 . \quad (2.15)$$

Atribuind valori argumentate pentru coeficienții k_1 , k_1^1 și k_2 , S_{\min} , r , $D_{I/O \text{ Baza}}$ și L_{baza} , poate fi cercetată variația costurilor cablajului imprimat calculate cu expresiile (2.8), (2.9) și (2.15) ca funcție de dimensiunea $D_{I/O}$ a spațiului de intrare/ieșire și numărul V_{un} de unități EmD fabricate. Expresia (2.15) poate fi utilă și în estimarea dimensiunilor fizice ale dispozitivului. Aplicând expresiile (2.6) și (2.7), devine posibilă analiza comparativă a costurilor hardware pentru arhitecturile de alternativă considerate figura 2.17 și 2.18, costurile fiind funcție de $D_{I/O}$ și corelate cu V_{un} .

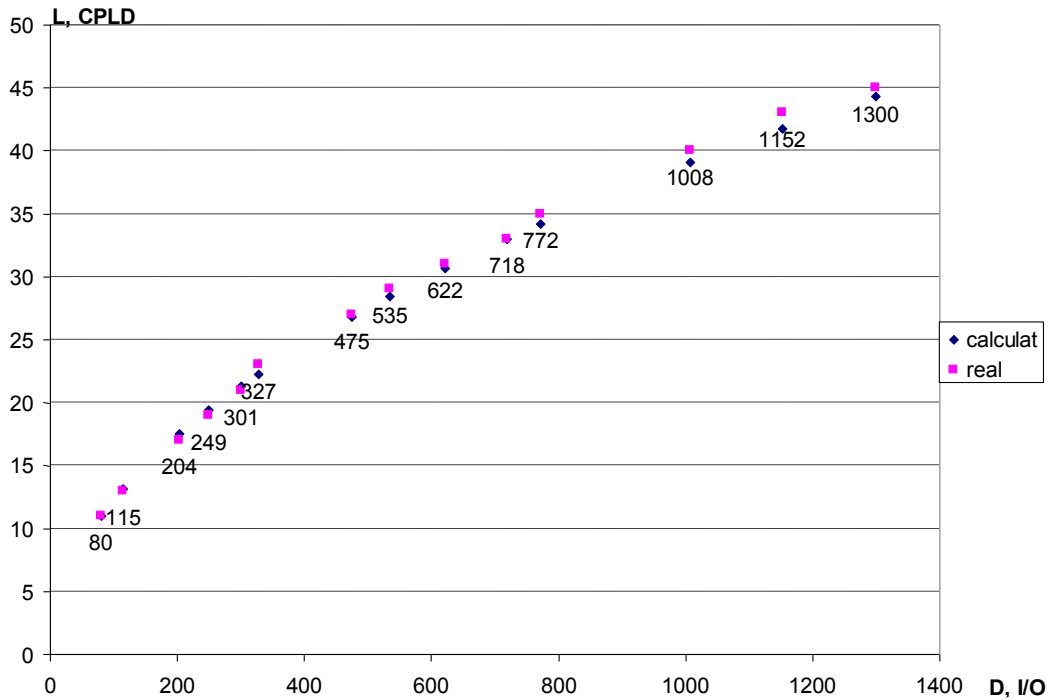


Fig.2.19a. Latura circuitului pentru capsule de tip FBGA într-o gama de la 100 până la 1932 de pini calculată conform expresiei (2.13) și valorile reale ale capsulelor.

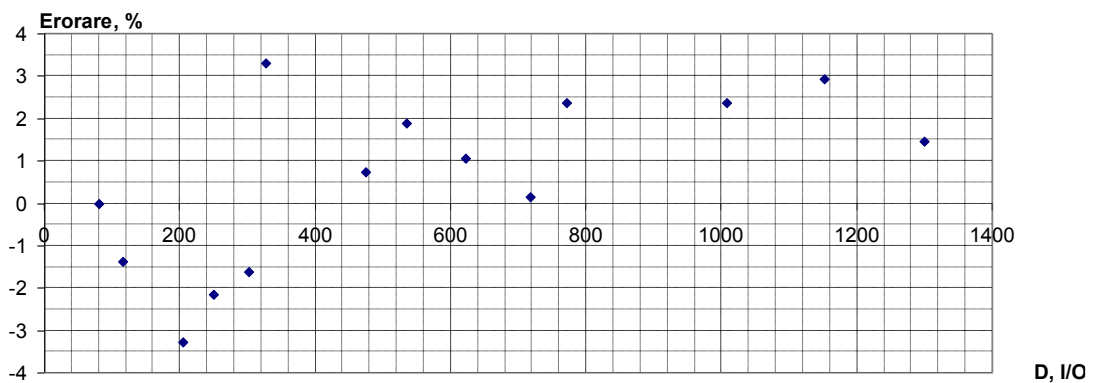


Fig.2.19b. Eroarea de estimare a laturii capsulei.

După cum se vede din graficul (fig.2.19b) eroarea de estimare a laturii efectuată cu ajutorul expresiei (2.13) nu depășește valoarea de $\pm 3,3\%$ pentru capsule de tip tip FBGA (FineLine Ball-grid array) într-o gama de la 100 până la 1932 de pini.

2.4. Cercetarea variației costurilor cablajului imprimat

În continuare prezentăm în formă de tabel prețurile actuale la cablaj imprimat confecționat în R. Moldova la întreprinderea S.A. Topaz-Saliut.

* Prețul de confecționare pentru fiecare tip de cablaj imprimat este individual, în dependență de volumul comenzii, fără TVA.

Remarcă: Confecționarea fotoșabloanelor se efectuează contra plății adăugătoare.

Tabelul 2.1. Cablaj imprimat 1,2 straturi

Tipul cablajului imprimat	Pregătirea producției	Prețul în funcție de volumul comenzii, lei/dm ²							
		Mai puțin de 10 dm ²	Mai mult de 10 dm ²	Mai mult de 25 dm ²	Mai mult de 50 dm ²	de 200	de 500	de 1000	Mai mult de 2000 dm ²
1 strat		44.28	33.29	27.72	24.6	21.32	19.84	16.73	Preț negociabil
1 strat + mască	164	53.14	37.72	29.85	26.73	23.29	21.65	20.34	
1 strat + mască + Marcaj elemente (1st.)	246	57.56	39.85	31.98	28.7	24.93	23.62	21.32	
2 straturi		110.7	66.42	53.3	45.1	39.36	37.72	35.26	
2 straturi + mască	459,2	143.99	99.71	63.96	51.66	44.61	41.82	37.88	
2 straturi + mască + Marcaj elemente (1st.)	574	154.98	110.7	74.62	55.43	48.38	43.46	39.67	

Tabelul 2.2. Cablaj imprimat multistrat

Numărul de straturi	Pregătirea producției	Prețul în funcție de volumul comenzii, lei/dm ²				
		Mai puțin de 10 dm ²	Mai mult de 10 dm ²	Mai mult de 25 dm ²	Mai mult de 50 dm ²	Mai mult de 1000 dm ²
4	492	332.1	287.82	246	221.4	Preț negociabil
6	646	487.08	442.8	369	315.7	
8	1066	774.9	686.34	512.5	442.8	
10	1640	1062.72	952.02	820	742.1	
12	2460	1217.7	1107	922.5	787.2	
Mască (2st.) +		11.15	9.02	7.54	6.23	
Marcaj (2st.) +		11.15	9.02	7.54	6.23	
Cablaj imprimat multistrat 14-24 straturi		Preț negociabil				

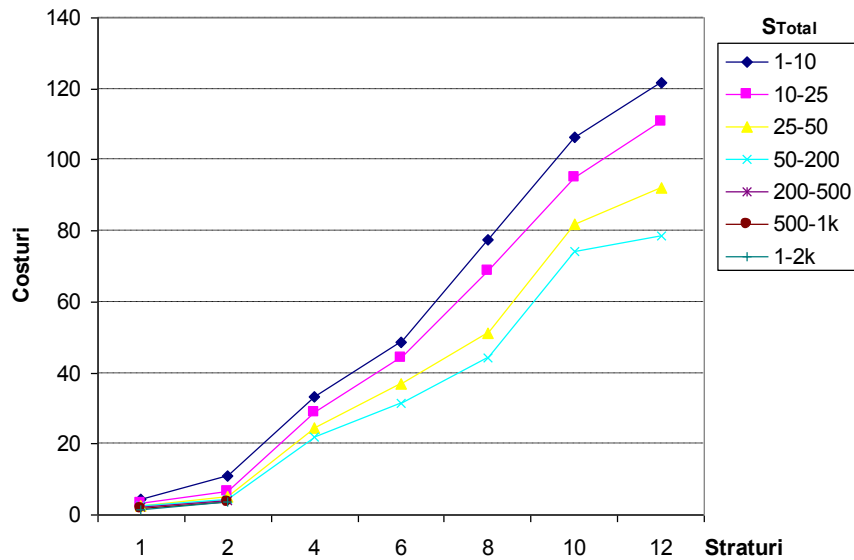


Fig.2.20. Costul 1dm² cablaj imprimat în dependență de numărul de straturi

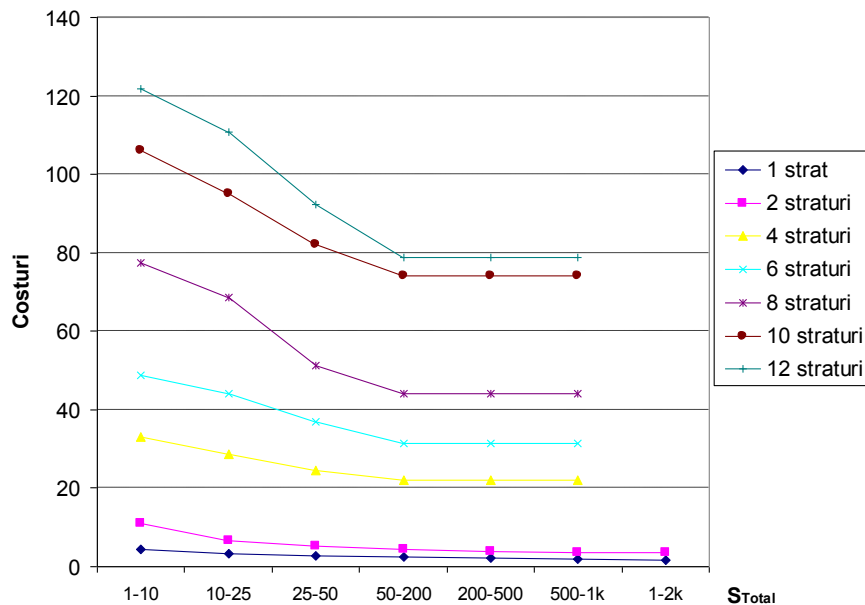


Fig.2.21. Costul 1dm² cablaj imprimat în funcție de volumul comenzii

Costul unui dm^2 de cablaj imprimat funcție de numărul de straturi și suprafața totală a comenzii figura 2.20 a fost raportat la prețurile reale de pe piața Republicii Moldova. Cu toate acestea, costurile convenționale indicate în figura 2.21 reflectă situația și tendințele generale de pe piața proiectării și fabricației cablajelor imprimate.

Costurile cablajului imprimat pot fi calculate, folosind expresiile (2.8), (2.9) și (2.15). Atribuind valori argumentate pentru coeficienții k_1 , k_1^1 și k_2 , S_{\min} , $D_{I/O\text{Baza}}$ și L_{baza} , poate fi efectuată analiza variației costurilor respectiv în funcție de dimensiunea $D_{I/O}$ a spațiului de intrare/ieșire, coeficientul de rutare r și numărul V_{un} de unități EmD fabricate [42].

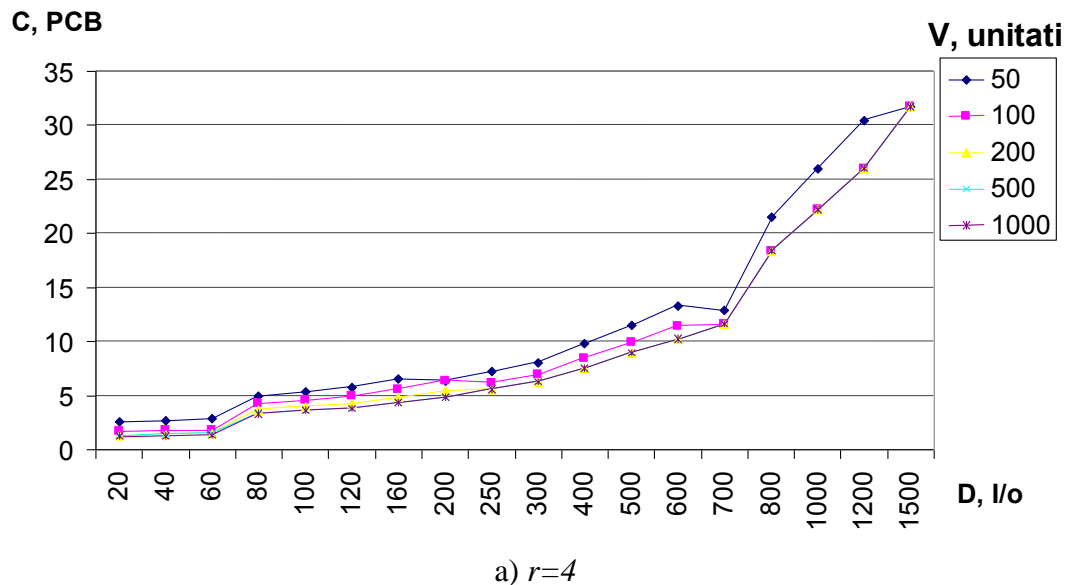
Pentru a cerceta variația costurilor cablajului imprimat au fost atribuite următoarele valori:

- $S_{\min} = 0,25 \text{ dm}^2$ pentru $k_1 = k_2 = k_1^1 = 0$ și $D_{I/O} < 80$;
- $S_{\min} = 0,1 \text{ dm}^2$ pentru $k_1 = k_2 = k_1^1 = 0$ și $D_{I/O} \geq 80$;
- $S_{\min} = 0,5 \text{ dm}^2$ pentru $k_1 \neq 0$, $k_1^1 \neq 0$ și $k_2 \neq 0$;
- $D_{I/O \text{ Baza}} = 80$;
- $L_{\text{baza}} = 11 \text{ mm}$.

Valorile reale ale laturii și dimensiunii spațiului I/O de bază au fost stabilite cu referință la dispozitivul real din familia Altera în capsulă de tip FBGA cu 100 de pini.

Dispozitivele din familia Altera în capsulă de tip FBGA oferă proiectanților un set de 16 capsule într-o gama de la 100 până la 1932 de pini. Dispozitivele respective permit acoperirea spațiului de intrare-ieșire cu dimensiuni cuprinse între 80 și 1400. Valorile reale ale laturii capsulei dispozitivului variază de la 11mm până la 45mm.

Variația costurilor cablajului imprimat în funcție de dimensiunea spațiului de intrare/ieșire al dispozitivului încorporat, coeficientul de rutare r și numărul de unități EMD fabricate este ilustrată în figurile 2.22 – 2.25.



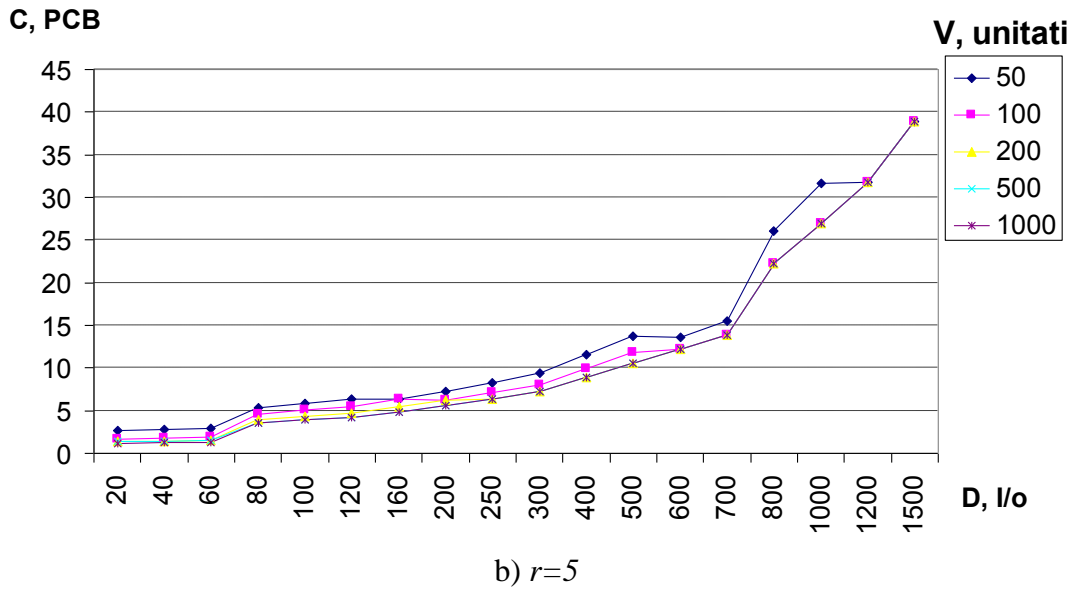


Fig.2.22. Variația costurilor cablajului imprimat în intervalul extins al spațiului I/O

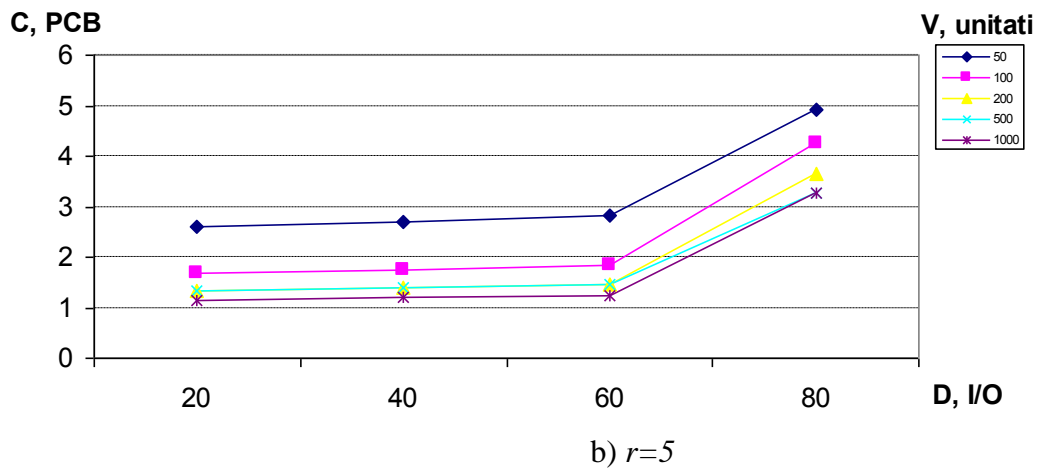
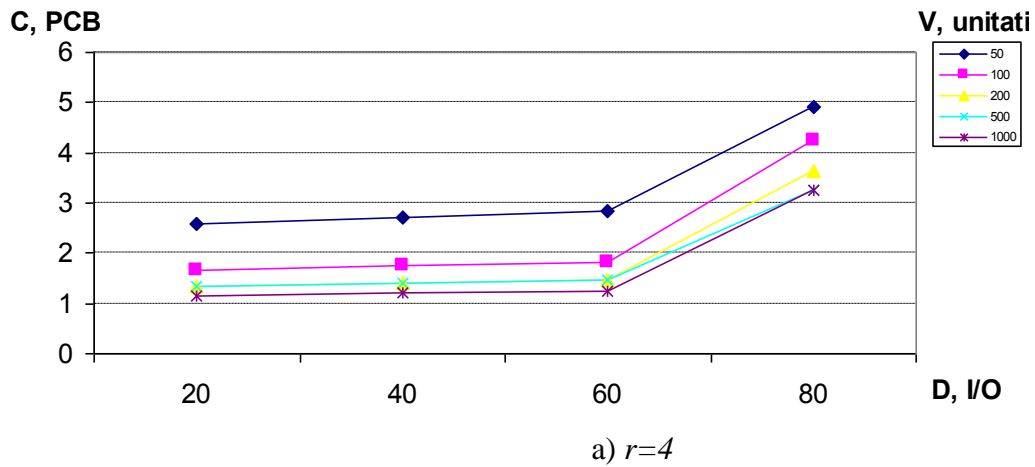


Fig.2.23. Variația costurilor cablajului imprimat în gama de jos al spațiului I/O 20-60

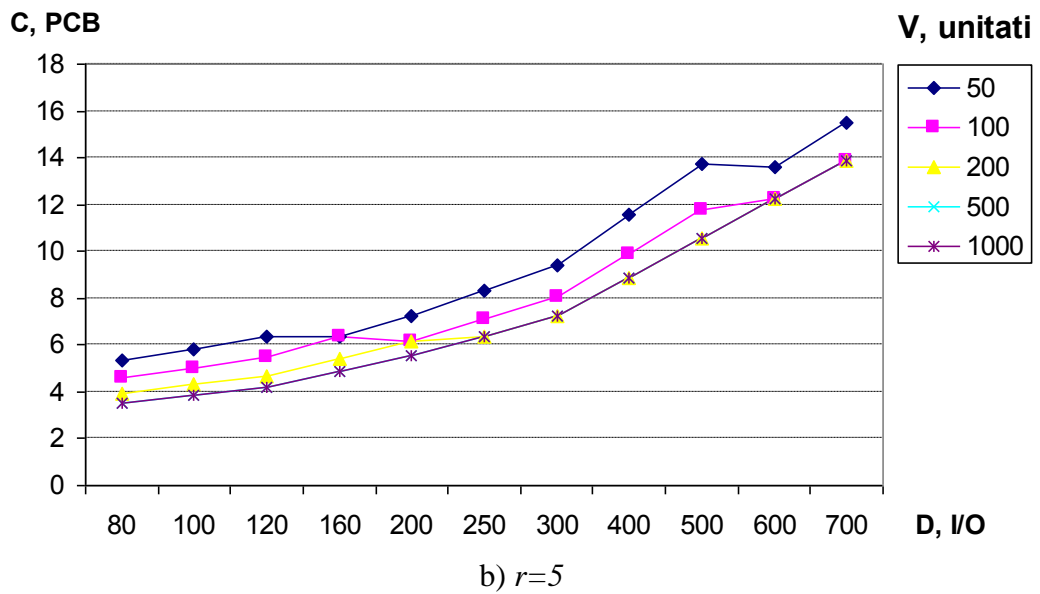
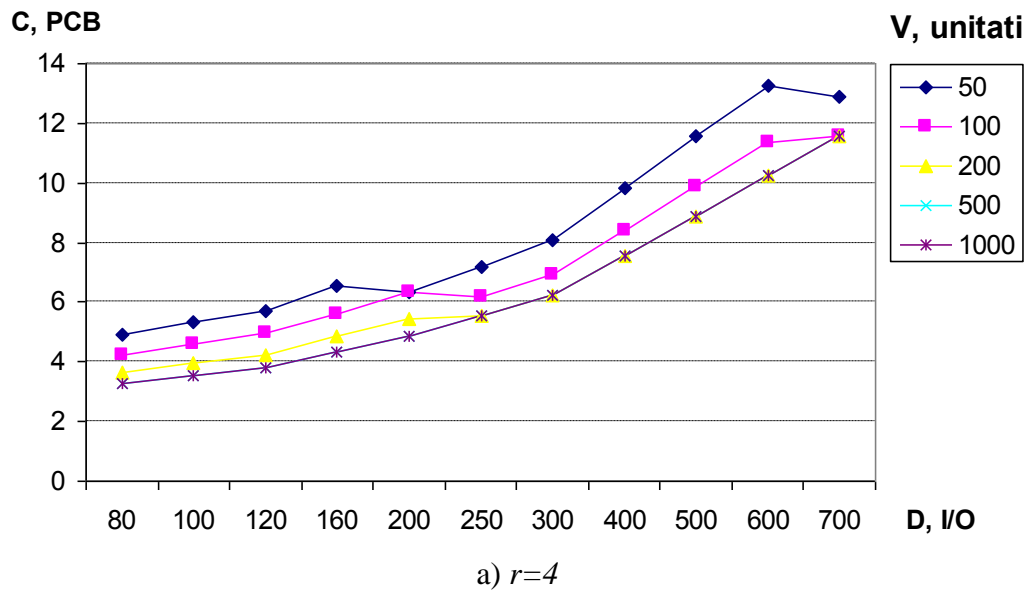


Fig.2.24. Variația costurilor cablajului imprimat în gama de mijloc al spațiului I/O 80-700

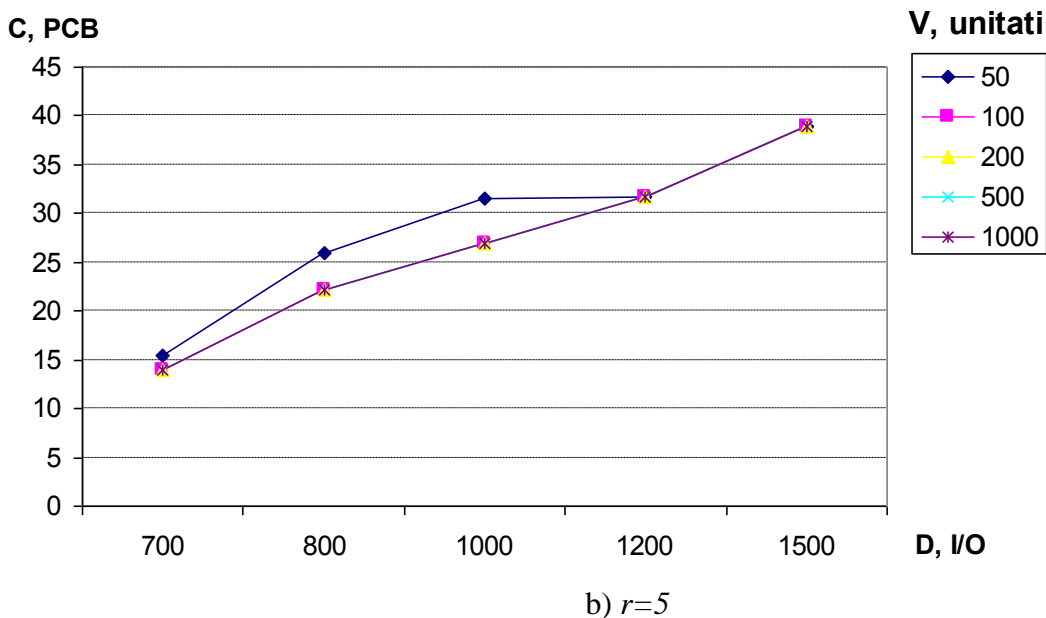
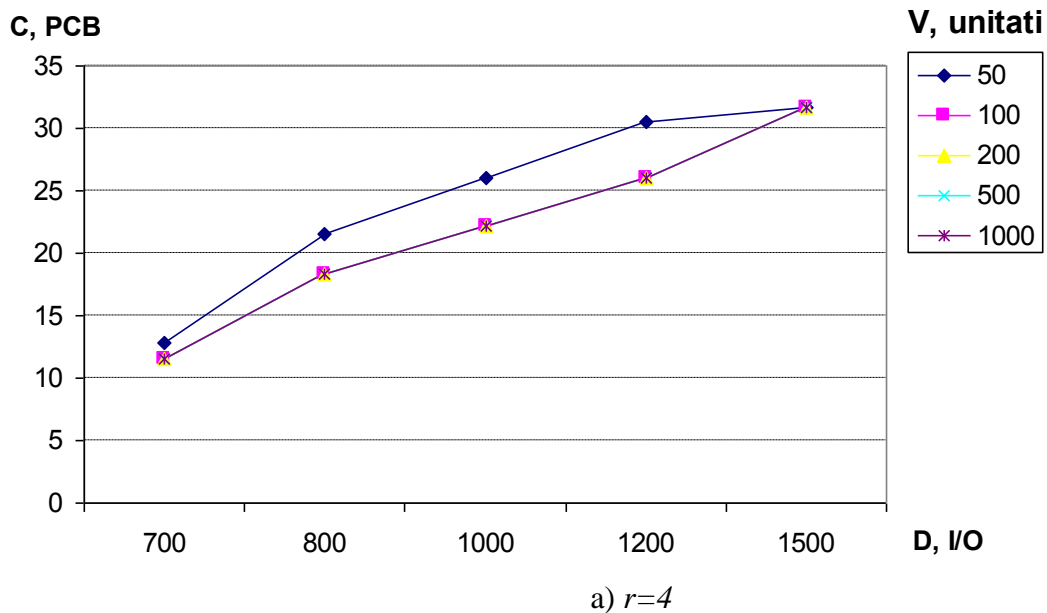


Fig.2.25. Variația costurilor cablajului imprimat în gama de sus al spațiului I/O 800-1500

Analiza figurilor prezentate arată o caracteristică apropiată a costurilor pentru coeficienții $r=4$ și $r=5$. Variația costurilor este dată în special de numărul de intrări/ieșiri și de structura EmD utilizată. Ca rezultat pot fi puse în evidență trei domenii de valori pentru I/O, spre exemplu:

1. 20-60 intrări/ieșiri. Deoarece avem un număr mic de intrări/ieșiri poate fi ușor folosită structura EmD în bază de MCU, cu numărul de straturi PCB 1-2 și $S_{\min}=0.25\text{dm}^2$.
2. 80-700 intrări/ieșiri. Odată cu creșterea numărului intrărilor/ieșirilor este necesar de utilizat structura EmD în baza FPGA(CPLD), cu numărul de straturi 2-4 și $S_{\min}=0.1\text{dm}^2$.

3. 800-1500 intrări/ieșiri. Creșterea semnificativă a I/O impune utilizarea FPGA(CPLD) și a unui număr de straturi ≥ 6 și $S_{\min}=0.5\text{dm}^2$.

Zona intermediară 60-80 intrări/ieșiri permite: utilizarea numărului de straturi PCB 1-2, $S_{\min}=0.25\text{dm}^2$ (gama 1) sau numărul de straturi 2-4 și $S_{\min}=0.1\text{dm}^2$ (gama 2) la alegerea proiectantului. Creșterea semnificativă a costurilor se observă la trecerea de la o structură EmD la alta și anume, atunci când numărul intrări/ieșiri devine >80 ca rezultat are loc trecerea de la 1-2 straturi la 4-6. Creșterea lentă a costurilor în interiorul acestei game la faza incipientă este dată de micșorarea S_{\min} de la 0.25dm^2 la 0.1dm^2 . Spațiul de intrări/ieșiri 80-700 poate fi utilizat și pentru structurile în bază de MCU (fig. 2.13a, 2.14a și 2.15a) cu condiția că poate fi acoperit tot domeniul de valori I/O. Zona intermediară 700-800 intrări/ieșiri de asemenea poate fi utilizată cu parametrii: numărul de straturi 2-4, $S_{\min}=0.1\text{dm}^2$ (gama 2) sau număr de straturi ≥ 6 și $S_{\min}=0.5\text{dm}^2$ (gama 3). De asemenea o trecere brusca se vede pentru un număr de intrări/ieșiri ≥ 800 și se datorează factorilor: crește numărul straturilor și S_{\min} devine $S_{\min}=0.5\text{dm}^2$.

Cum a fost menționat în paragraful 2.3 expresia (2.15) poate fi utilizată în estimarea dimensiunilor fizice ale dispozitivului EmD proiectat.

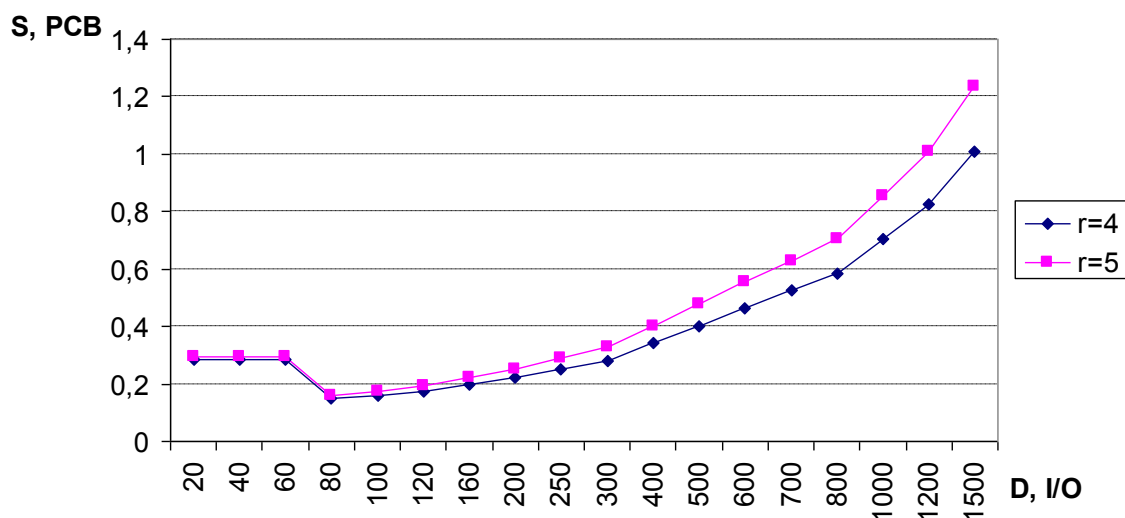


Fig.2.26. Variația ariei suprafeței cablajului imprimat S_{pcb} versus D, I/O

După cum se vede din graficul prezentat mai sus aria cablajului imprimat crește odată cu creșterea dimensiunii I/O și reprezintă o variație practic liniară în interiorul fiecărui interval de intrări/ieșiri: 20-60, 80-700 și 800-1500. Schimbările sunt pronunțate în deosebi la granițele acestor intervale, iar influența coeficientului de rutare r , devine evidentă începând cu numărul I/O >100 .

2.5. Analiza comparată a realizării Hardware de alternativă

În conformitate cu expresia (2.6) costul componentelor hardware variabil este compus din suma costurilor pentru: UC (MCU și CPLD), conversie, memorie și PCB. Datele sunt luate din lista de prețuri a producătorilor de circuite integrate iar calculul costul cablajului imprimat este prezentat în paragraful anterior. Gama de variație a coeficienților k_1 , k_1^1 și k_2 poate fi estimat în particular reieșind din clasa aplicației.

În figurile 2.27, 2.28 sunt date costurile reale la memorie și circuite de conversie cu diverse caracteristici [43, 44].

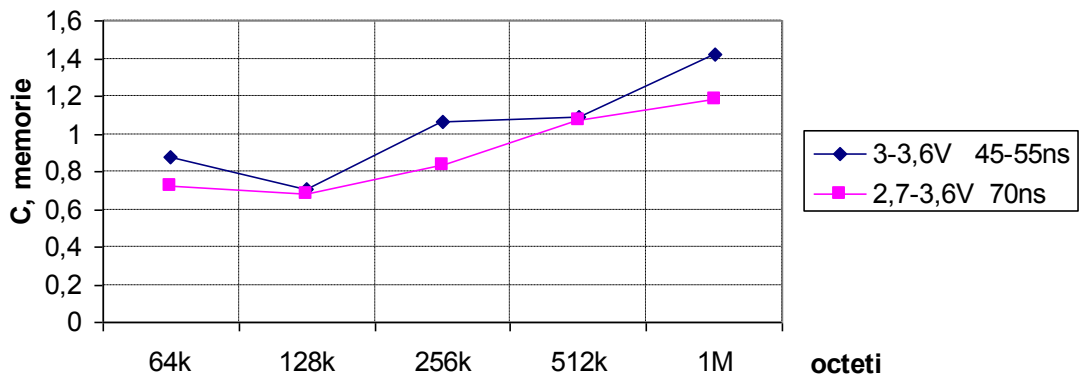


Fig.2.27. Prețurile la circuitele de memorie

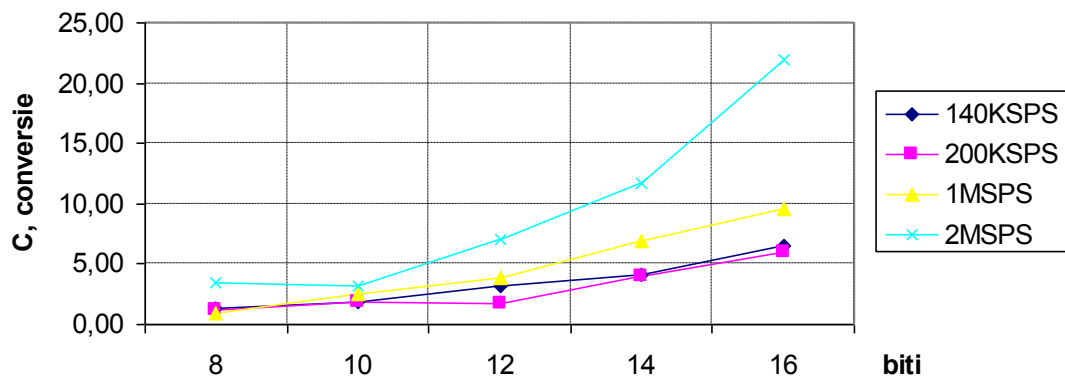


Fig.2.28. Prețurile la circuitele de conversie

Ținând cont de relația (2.6) și prețurile componentelor, poate fi estimată gama de prețuri pentru fiecare component în parte:

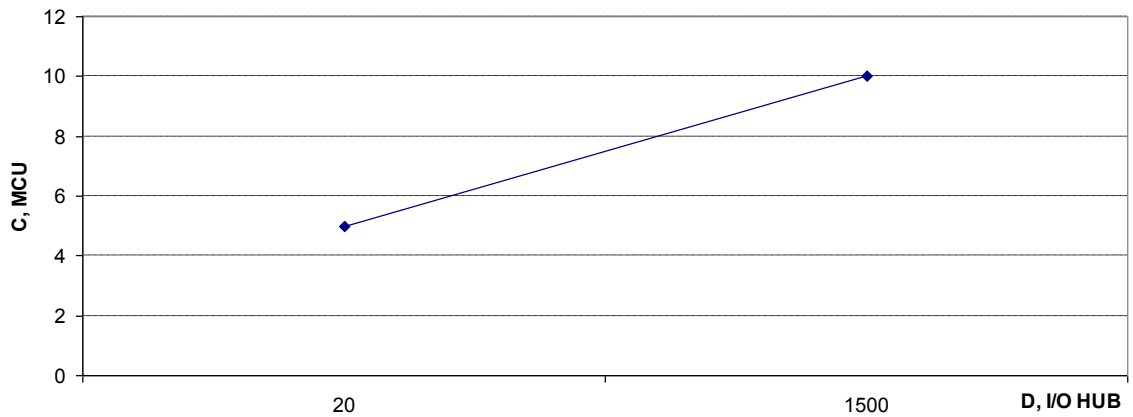


Fig.2.29. Intervalul de prețuri MCU pentru domeniul de valori, I/O 20-1500

În figura 2.29 este prezentat prețul UC compus din MCU, MCU+CPLD și CPLD+FPGA. Desigur acesta este aproximativ și poate varia mult în dependență de aplicația concretă.

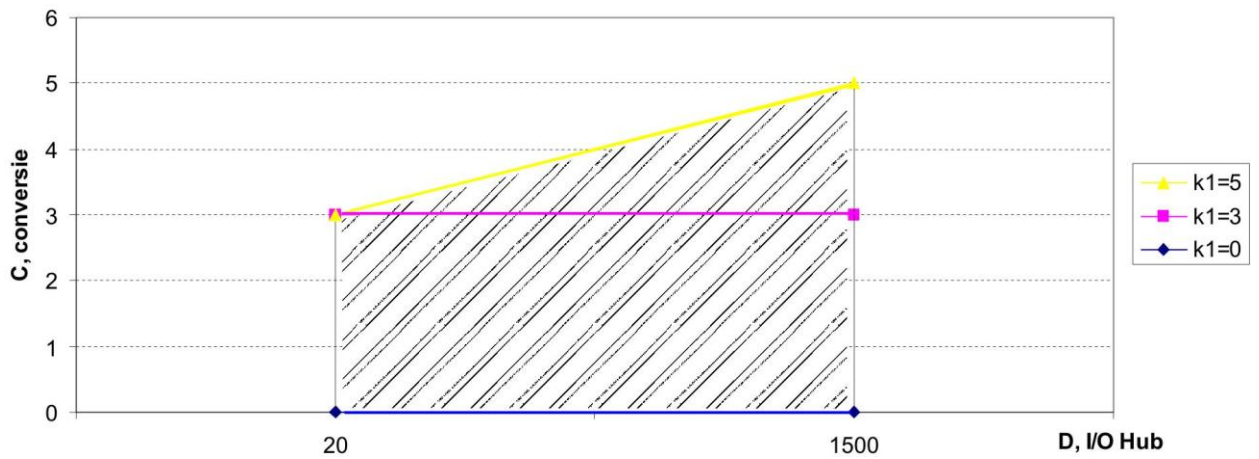


Fig.2.30. Prețul convertorului pentru coeficientul $k_1=0, 3$ și 5

În figura 2.30 este prezentat prețul convertorului. A fost analizat intervalul cel mai frecvent utilizat 8-12 biți, pentru ratele de conversie 140kSPS-1MSPS.

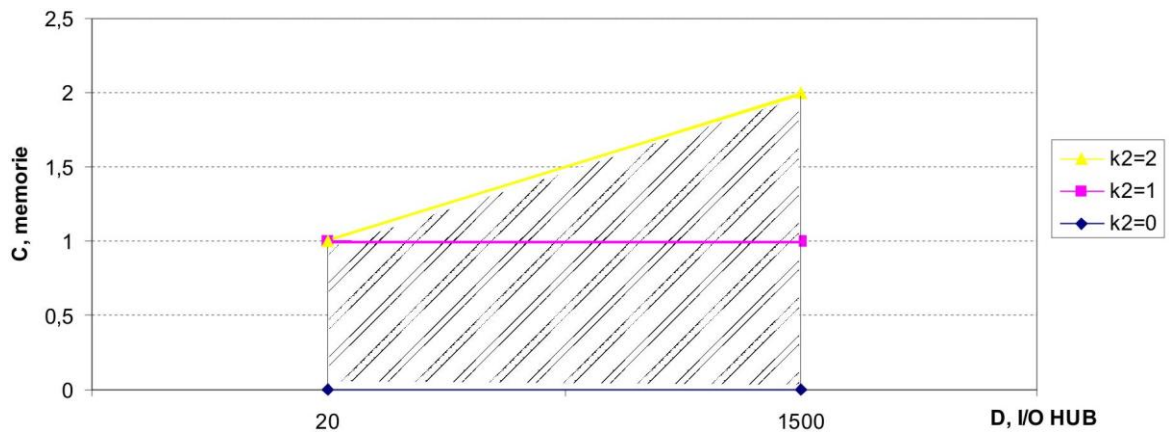


Fig.2.31. Prețul memoriei pentru coeficientul $k_2=0, 1$ și 2

Figura 2.31 redă prețurile la memorie: unde variațiile costului în varianta minimă 64k diferă de 1M Octet cu circa 100%.

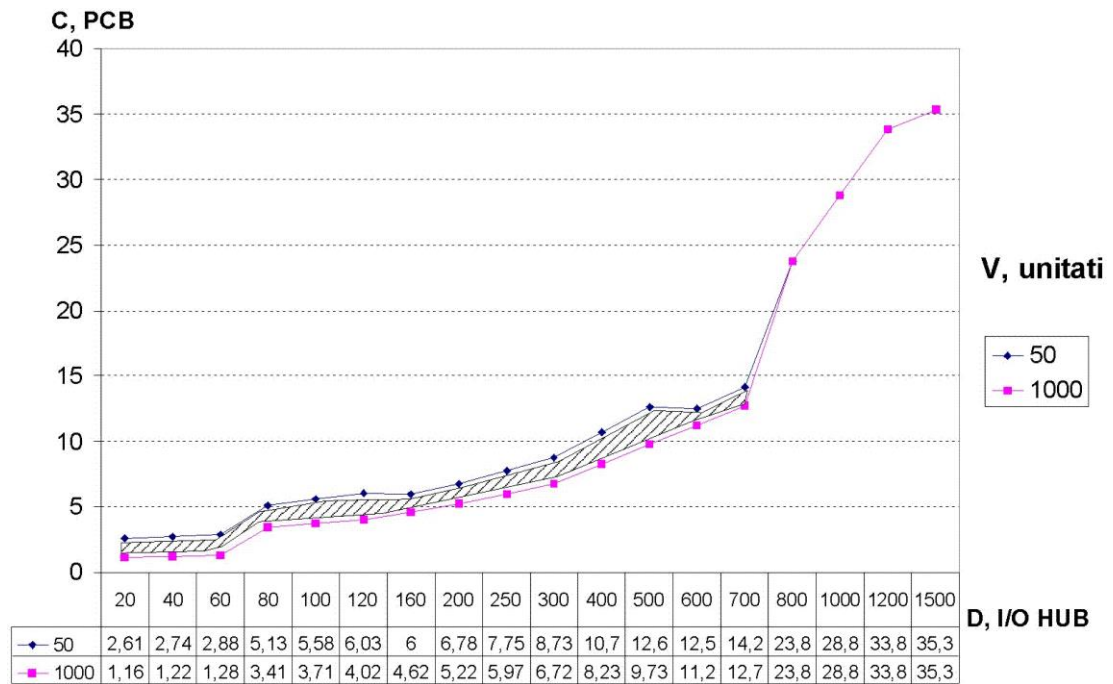


Fig.2.32. Costul PCB funcție de D I/O pentru diferite volume, $r=4.5$

Din graficul de mai sus se vede că costul pentru confecționarea cablajului imprimat depinde mult de volumul de producție în deosebi pentru numărul I/O mici și este în descreștere pentru I/O HUB mediu. Spre exemplu, pentru I/O=20 creșterea volumului producției de la 50 la 1000 unități diminuează costul cu 55.5% atunci când pentru I/O=700 prețul scade numai cu 10.7%. Pentru I/O HUB mai mare de 700, tehnologia confecționării devine atât de scumpă în cât volumul de producție nu mai influențează prețul.

Ca rezultat, pentru a estima costul EmD elaborat, conform structurii acestuia în conformitate cu expresia (2.6), se calculează suma tuturor costurilor pieselor componente. Variația costului total în mai mare măsură depinde de costul PCB, influențat de volumul de producție și coeficientul de rutare.

Figura 2.33 reprezintă costurile hardware pentru structurile în baza MCU pentru un volum de mii de unități. Pentru proiecte mai simple ($k_1 = k_2 = 0$) și dimensiunea spațiului I/O până la 80, costul este la un nivel minim. Curba costurilor, se mișcă în sus odată cu creșterea numărului de intrări/ieșiri și este influențată prin adăugarea CPLD. CPLD-ul low-cost este utilizat în calitate de punte pentru a îndeplini toate sarcinile legate de lărgirea spațiului I/O. Fiecare CPLD cu I/O mai mare - mărește suprafața PCB, figura 2.32. Atunci când elaborarea EmD necesită conversie și memorie ($k_1=5, k_2=2$) costul hardware-ul crește în mod semnificativ.

Figura 2.34 ilustrează costul hardware pentru aplicații bazate pe FPGA. Pentru structuri simple și dimensiunea spațiului intrări/ieșiri până la 80 ($k_1^1 = k_2 = 0$), costul este la un nivel minim. Curba costurilor, de asemenea, crește odată cu creșterea spațiului I/O. Aplicațiile cu ADC și capacități extinse de memorie impun $k_1^1 = 5$ și $k_2 = 2$, ca rezultat generează hardware-uri mai costisitoare.



Fig. 2.33. Costul hardware în baza MCU

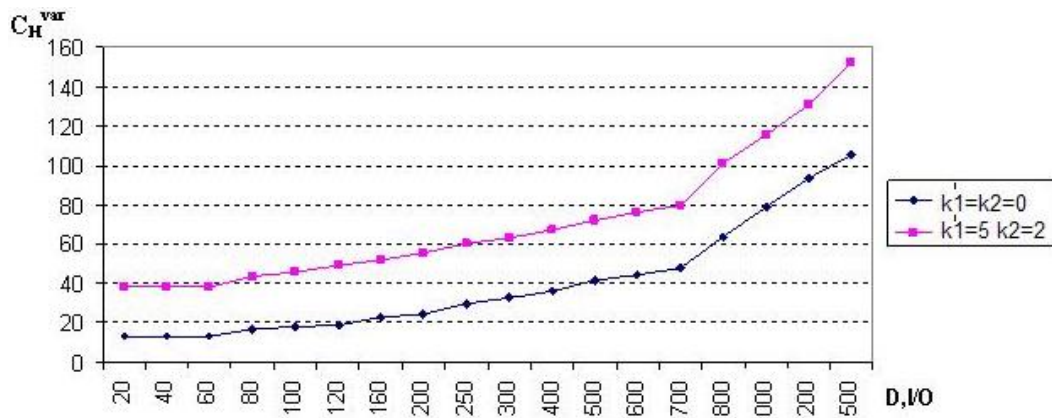


Fig. 2.34. Costul hardware în baza FPGA

Figura 2.35 reprezintă o comparație a costurilor celor două arhitecturi hardware considerate. Se poate observa că aplicația în baza FPGA/CPLD are avantaj față de o arhitectură bazată pe MCU atunci când spațiul I/O este mediu sau mare. Pe de altă parte, pentru numărul intrări/ieșiri mic abordarea bazată pe MCU reprezintă o alternativă mai puțin costisitoare. În cele din urmă, o combinație de MCU-plus-CPLD reprezintă structura cea mai potrivită pentru performanță medie și spațiu I/O mare.

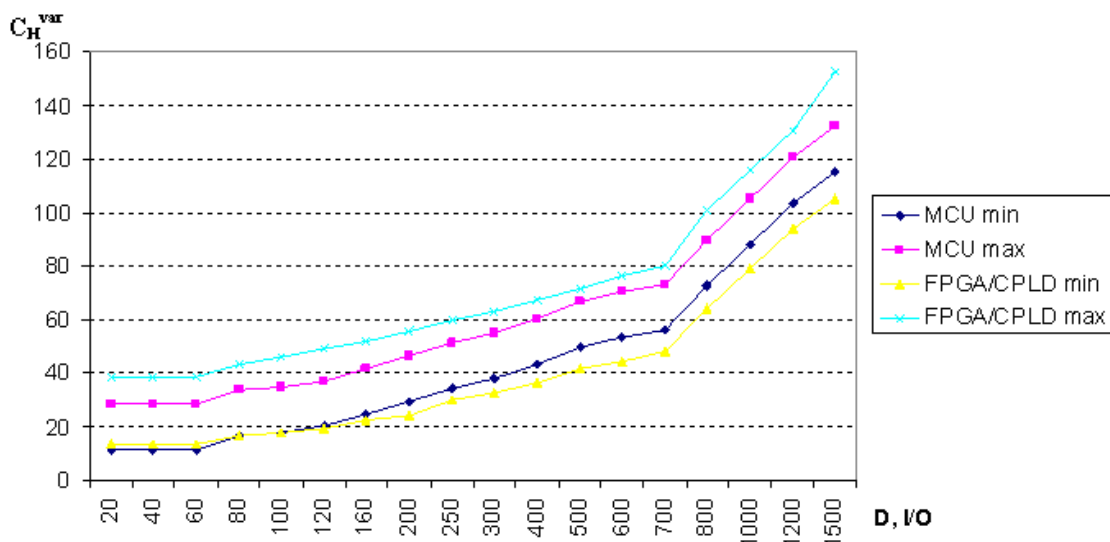


Fig. 2.35. Costul hardware comparativ

2.6 Concluzii la capitolul 2

Analiza calitativă a soluțiilor de alternativă efectuată pentru dispozitive în bază de microcontrolere și dispozitive logice programabile în proiectarea EmD a permis realizarea unei clasificări arhitectural-structurale pe 8 structuri tipice [39], ceea ce a permis trecerea rapidă de la funcție la arhitectură și respectiv de la organizare la structura dispozitivului proiectat.

A fost elaborat un model parametric de calcul a costului hardware [40, 41], care permite estimarea costului EmD în spațiu de intrare/ieșire extins la etapa de proiectare timpurie a aplicației încorporate. În baza modelului propus a fost efectuată cercetarea variației costului cablajului imprimat în funcție de spațiul de intrare/ieșire al aplicației încorporate și volumul de producție redus [42]. Cercetarea efectuată a identificat trei zone distincte ca cost în spațiul de intrare/ieșire extins și arată necesitatea reducerii numărului de intrări/ieșiri în spațiul aplicației încorporate, în special la granița dintre zonele 2-1 și 3-2.

Aplicarea modelului elaborat permite determinarea dimensiunilor fizice ale dispozitivului proiectat în limitele de eroare ale modelului parametric propus care nu depășește $\pm 3.3\%$.

A fost definită o metodă de analiză a costului implementărilor de alternativă care permite alegerea argumentată a platformei tehnologice pentru realizarea nucleului dispozitivului încorporat.

Spre deosebire de modelele de calcul existente [4, 31, 32], metodică și modelul propus poate fi aplicat pentru estimarea costului EmD în spațiu de intrare/ieșire extins al aplicației încorporate cu un volum de producție mediu sau redus.

3. ELABORAREA DISPOZITIVELOR CU DESTINAȚIE MEDICALĂ

3.1 Analiza calității EmD pe baza criteriului cost-performanță

Modelul și metodologia elaborate în cap.2 al lucrării pot servi ca bază teoretică la determinarea calității arhitecturii EmD în curs de proiectare. Mai exact, este posibilă analiza calității arhitecturilor studiate în concordanță cu metricile de proiectare considerate – cost și performanță. Arhitectura ce oferă un indicator al calității mai înalt se consideră a fi soluția optimă pentru aplicația încorporată analizată.

Definiție. Fie o aplicație încorporată $APP(A,C,P)$ și un set S de arhitecturi care asigură implementarea algoritmului aplicativ A și satisfac cerințelor de cost C și de performanță P impuse. Fie în continuare două arhitecturi de alternativă $\{EmD_i, EmD_j\} \in S$, care permit realizarea aplicației, asigurând calitatea Q_{EmS_i} , respectiv Q_{EmS_j} . Atunci raportul $F_Q = \frac{Q_{EmS_i}}{Q_{EmS_j}}$

reprezintă câștigul/pierderea de calitate a arhitecturii EmD_i comparativ cu arhitectura EmD_j .

Conform definiției de mai sus arhitectura EmD_i reprezintă soluția optimă pentru aplicația proiectată dacă $F_Q > 1$. În caz contrar ($F_Q < 1$) soluția optimă ține de arhitectura EmD_j . Este evident că pentru cazul $F_Q = 1$ rezultă echivalența de calitate a arhitecturilor comparate. În acest caz soluția optimă va ține cont de valoarea factorului de ponderare q . Dacă ponderea costului domină atunci arhitectura cu cost mai mic va fi considerată optimă.

Din cele formulate mai sus rezultă necesitatea calculării factorului de calitate Q_{EmS} pentru fiecare soluție arhitecturală de alternativă. În conformitate cu relația fundamentală (2.1) și notările din cap.2, și considerînd parametrul de ponderare $q=1$, putem scrie:

$$Q_{EmS} = \frac{1}{C_{proiect} + C_S + C_H^{FIX} + C_H^{VAR}} \cdot \quad (3.1)$$

Considerînd doar costul hardware obținem:

$$Q_{EmS}^H = \frac{1}{C_H^{FIX} + C_H^{VAR}}, \quad (3.2)$$

unde prin Q_{EmS}^H s-a notat calitatea dispozitivului încorporat prin prisma costului componentei hardware variabil. Ținînd cont de relațiile (2.6), (2.7), (2.8), (2.15) obținem:

$$Q_{EmS}^{MCU} = \frac{1}{C_{MCU} + k_1 C_{CONV} + k_2 C_{MEM} + C_{CPLD} + c \cdot (S_{min} + r \cdot \frac{D_{I/O}}{D_{I/O Baza}} \cdot L_{baza}^2) + C_H^{FIX}}, \quad (3.3)$$

respectiv

$$Q_{EmS}^{FPGA} = \frac{1}{C_{FPGA} + k_1' C_{CONV} + k_2 C_{MEM} + c \cdot (S_{\min} + r \cdot \frac{D_{I/O}}{D_{I/O \text{ Baza}}} \cdot L_{baza}^2) + C_H^{FIX}}, \quad (3.4)$$

unde Q_{EmS}^{MCU} și Q_{EmS}^{FPGA} reprezintă factorul de calitate al dispozitivului încorporat pe bază de microcontroler, respectiv dispozitiv logic programabil.

Având în vedere relațiile (3.3), (3.4) și costurile hardware estimate în §2.5 s-a calculat factorul de calitate al dispozitivului încorporat în bază de MCU în funcție de dimensiunea I/O în configurație minimă $k_1=k_2=0$ și configurație maximă $k_1=5, k_2=2$ (fig. 3.1.a). În mod similar s-a calculat factorul de calitate a dispozitivului încorporat în bază de FPGA în configurație minimă $k_1^1=k_2=0$ și configurație maximă $k_1^1=5, k_2=2$ (fig. 3.1.b).

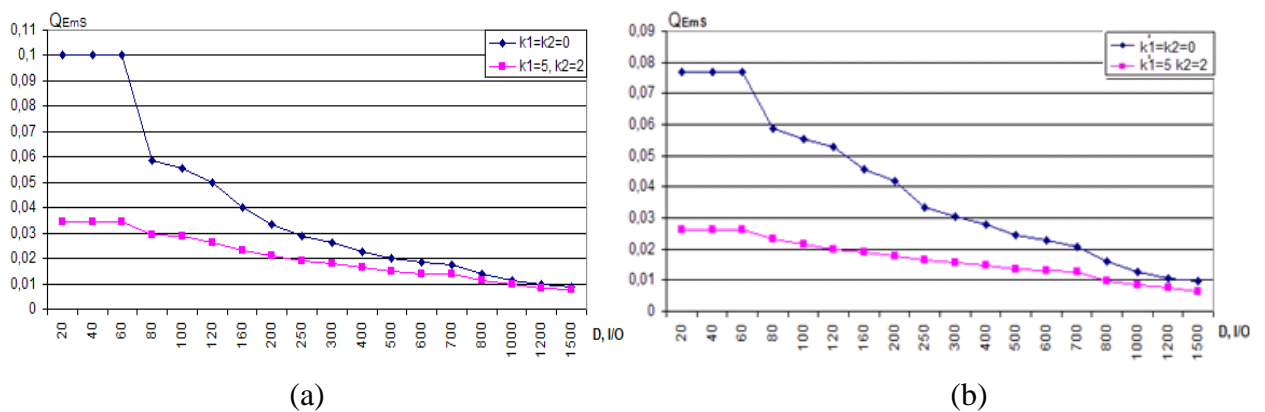


Fig.3.1. Factorul de calitate a EmD pe bază de microcontroler (a) și FPGA/CPLD (b).

În figura 3.2.a este prezentată diagrama comparativă a factorului de calitate a EmD în bază de MCU în raport cu factorul de calitate a EmD în bază de FPGA/CPLD în configurație minimă. Figura 3.2.b ilustrează analiza comparativă a factorului de calitate a EmD în bază de MCU în raport cu factorul de calitate a EmD în bază de FPGA/CPLD în configurație maximă.

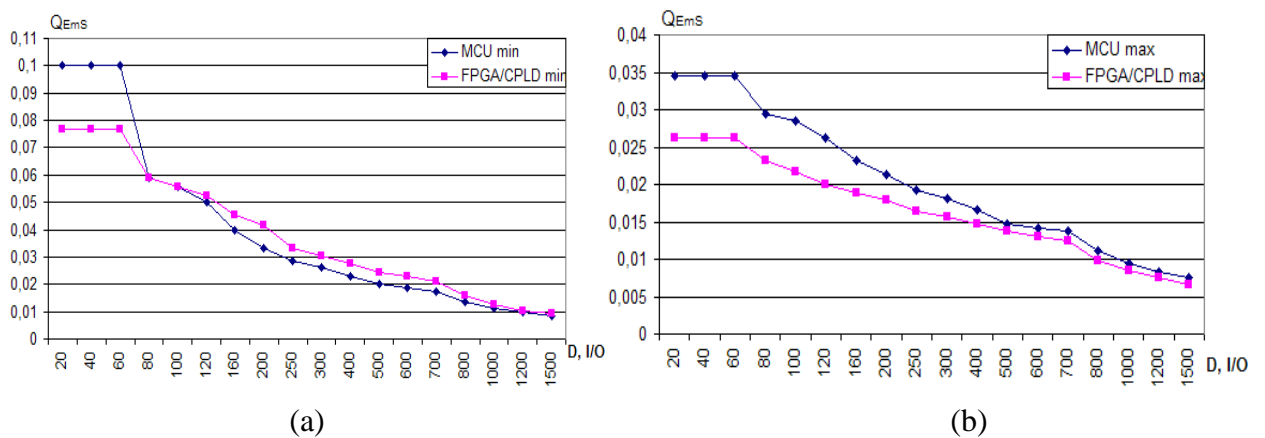


Fig.3.2. Factorul de calitate pentru arhitecturi de alternativă, (a) - configurație minimă, (b) - configurație maximă.

O primă analiză a diagramelor prezentate mai sus arată, ca și în cazul figurii 2.22, existența în spațiul de I/O a trei segmente distincte pentru factorul de calitate: 20-80; 80-700; 700-1500. După cum se vede din figura 3.2.a câștigul $F_Q = \frac{Q_{EmS}^{MCU}}{Q_{EmS}^{FPGA}} > 1$ în diapazonul de intrări/ieșiri 20-80, de unde rezultă alegerea în calitate de soluție optimală a arhitecturii pe bază de microcontroler. Pe intervalul 80-100 $F_Q = 1$ de unde rezultă echivalența aproximativă a celor două abordări de alternativă raportate la numărul respectiv de intrări/ieșiri. În cazul unui spațiu de intrare/ieșire mai mare de 100 $F_Q < 1$, arhitectura pe bază de FPGA/CPLD fiind mai avantajoasă în raport cu realizarea în bază de MCU.

Din figura 3.2.b se poate observa că câștigul $F_Q = \frac{Q_{EmS}^{MCU}}{Q_{EmS}^{FPGA}} > 1$ pe intervalul de intrări/ieșiri de pînă la aproximativ 500, soluția optimală fiind oferită de realizarea aplicației cu microcontroler. Acest fapt se datorează costului înalt al componentei FPGA/CPLD dar și a costului suplimentar a componentelor pentru realizarea conversiei și eventual a memoriei locale în configurație maximă. Totuși trebuie remarcată echivalența aproximativă a celor două abordări arhitecturale pentru un număr de intrări/ieșiri mai mare de 500.

Din analiza diagramelor prezentate rezultă în mod evident că pentru a spori calitatea dispozitivului proiectanții de dispozitive EmD trebuie să întreprindă măsurile necesare pentru a migra din diapazonul 2→1 și din 3→2.

În relațiile (2.3), (2.4) parametrul de ponderare $q=1$, adică performanța dispozitivului proiectat nu este luată în considerație decât doar indirect (configurație minimă, respectiv maximă). Este clar că în multe aplicații încorporate, chiar și de nivel low-end, performanța dispozitivului contează într-o măsură mai mare sau mai mică. Pentru a da pondere performanței dispozitivului încorporat trebuie luat în considerație un parametru de ponderare $q < 1$. Considerînd că performanța P a nucleului EmD este atinsă cu un cost variabil C_H^{VAR} , putem scrie:

$$Q_{EmS}^{MCU} = \frac{P_{MCU}^{1-q}}{(C_{MCU} + k_1 C_{CONV} + k_2 C_{MEM} + C_{CPLD} + c \cdot (S_{\min} + r \cdot \frac{D_{I/O}}{D_{I/O \text{ Baza}}} \cdot L_{baza}^2) + C_H^{FIX})^q}, \quad (3.5)$$

respectiv

$$Q_{EmS}^{FPGA} = \frac{P_{FPGA}^{1-q}}{(C_{FPGA} + k_1 C_{CONV} + k_2 C_{MEM} + c \cdot (S_{\min} + r \cdot \frac{D_{I/O}}{D_{I/O \text{ Baza}}} \cdot L_{baza}^2) + C_H^{FIX})^q}, \quad (3.6)$$

unde au fost introduse notațiile:

P_{MCU} - performanța arhitecturii EmD pe bază de microcontroler;

P_{FPGA} - performanța arhitecturii EmD pe bază de dispozitiv logic programabil.

Aici trebuie precizat ce se subînțelege prin noțiunea de performanță a dispozitivului încorporat. Într-un context mai larg performanța dispozitivului (a se vedea §1.2.1) este o metrică extrem de complexă și se caracterizează prin viteza de execuție, fiabilitate, consum de energie, flexibilitate, etc.

În contextul cercetărilor efectuate performanța dispozitivului încorporat este interpretată în sensul vitezei de execuție. Pentru a putea caracteriza cantitativ calitatea dispozitivului este necesară evaluarea vitezei de execuție a algoritmului aplicativ la rularea acestuia pe arhitecturi de alternativă.

O primă soluție simplă și foarte rapidă în acest sens constă în utilizarea indicatorului vitezei de lucru a microcontrolerului specificat în datele tehnice ale microcontrolerului considerat ca parametru $MIPS$. Acest parametru indică numărul de instrucțiuni pe secundă $\times 10^6$ și poate caracteriza suficient de exact viteza de execuție a algoritmilor aplicativi relativ simpli. Cu această abordare practică performanța dispozitivului se poate exprima prin indicatorul vitezei de lucru a microcontrolerului $P_{MCU} = MIPS_{rate}$. Atunci, calitatea dispozitivului se va determina cu relația

$$Q_{EmS}^{MCU} = \frac{(MIPS_{rate})^{1-q}}{(C_{MCU} + k_1 C_{CONV} + k_2 C_{MEM} + C_{CPLD} + c \cdot (S_{\min} + r \cdot \frac{D_{I/O}}{D_{I/O\ Baza}} \cdot L_{baza}^2) + C_H^{FIX})^q}. \quad (3.7)$$

Considerînd două elaborări încorporate pe bază de microcontroler se poate estima rapid

cîștigul/pierderea de calitate $F_Q = \frac{Q_{EmS_1}}{Q_{EmS_2}}$ a unei arhitecturi față de alta:

$$F_Q = \frac{(MIPS_{rate1})^{1-q} \cdot (C_{MCU2} + k_1 C_{CONV} + k_2 C_{MEM} + C_{CPLD} + c \cdot (S_{\min} + r \cdot \frac{D_{I/O}}{D_{I/O\ Baza}} \cdot L_{baza}^2) + C_H^{FIX})^q}{(MIPS_{rate2})^{1-q} \cdot (C_{MCU1} + k_1 C_{CONV} + k_2 C_{MEM} + C_{CPLD} + c \cdot (S_{\min} + r \cdot \frac{D_{I/O}}{D_{I/O\ Baza}} \cdot L_{baza}^2) + C_H^{FIX})^q},$$

unde $MIPS_{rate1}$ și $MIPS_{rate2}$ reflectă parametrul $MIPS$ pentru microcontrolerul MCU_1 , respectiv MCU_2 .

A altă abordare practică și mult mai exactă în evaluarea performanței unui dispozitiv de calcul constă în determinarea timpului de execuție CPU_{time} a unității centrale de procesare [11, 45, 46]. În acest caz performanța dispozitivului încorporat se poate estima cu valoarea inversă a timpului de execuție a aplicației pe microcontroler $P_{MCU} = 1/MCU_{time}$. O soluție pentru obținerea valorii timpului de execuție a aplicației pe microcontroler constă în rularea codului executabil în

regim de simulare. În acest caz se poate considera $MCU_{time} = T_{sim}$, unde T_{sim} reprezintă rezultatul rulării aplicației prin simulare, iar calitatea dispozitivului încorporat se poate calcula cu relația:

$$Q_{EmS}^{MCU} = \frac{(1/T_{sim})^{1-q}}{(C_{MCU} + k_1 C_{CONV} + k_2 C_{MEM} + C_{CPLD} + c \cdot (S_{min} + r \cdot \frac{D_{I/O}}{D_{I/O\ Baza}} \cdot L_{baza}^2) + C_H^{FIX})^q}. \quad (3.8)$$

Un calcul exact pentru valoarea timpului MCU_{time} poate fi efectuat reieșind din caracteristicile exacte ale codului executabil și parametrilor arhitecturii cercetate. Acest calcul se poate realiza cu ajutorul formulei [11, 45, 46]:

$$MCU_{time} = I_C \cdot CPI / f, \quad (3.9)$$

unde I_C – numărul de instrucțiuni ce se conține în programul aplicației date, CPI – numărul (mediu) de cicluri de ceas per instrucțiune, f – frecvența de ceas.

De remarcat faptul că caracteristicile de performanță indicate aici reflectă organizarea și arhitectura microcontrolerului, tehnologia hardware și tehnologia de compilare. Astfel, arhitectura setului de instrucțiuni și tehnologia de compilare influențează lungimea programului aplicației încorporate (I_C). Organizarea MCU și arhitectura setului de instrucțiuni determină valoarea factorului CPI . În final, tehnologia hardware și organizarea MCU determină decisiv durata ceasului de clock ($1/f$).

Din cele expuse rezultă importanța relației (3.9) pentru evaluarea cât mai exactă a performanței dispozitivului încorporat în bază de MCU, respectiv a calității dispozitivului, care se va calcula cu formula:

$$Q_{EmS}^{MCU} = \frac{(f / I_C \cdot CPI)^{1-q}}{(C_{MCU} + k_1 C_{CONV} + k_2 C_{MEM} + C_{CPLD} + c \cdot (S_{min} + r \cdot \frac{D_{I/O}}{D_{I/O\ Baza}} \cdot L_{baza}^2) + C_H^{FIX})^q}. \quad (3.10)$$

În cazul proiectării cu dispozitiv logic programabil performanța P_{FPGA} poate fi luată în calcul prin timpul de execuție a algoritmului aplicației încorporate pe dispozitiv logic programabil - $FPGA_{time}$. Acest timp poate fi estimat din analiza diagramelor de timp generate în regim de simulare cu ajutorul unui mediu de proiectare corespunzător (de exemplu Quartus). Astfel, se poate considera $P_{FPGA} = 1 / FPGA_{time}$, iar relația (3.6) capătă forma:

$$Q_{EmS}^{FPGA} = \frac{(1 / FPGA_{time})^{1-q}}{(C_{FPGA} + k_1 C_{CONV} + k_2 C_{MEM} + c \cdot (S_{min} + r \cdot \frac{D_{I/O}}{D_{I/O\ Baza}} \cdot L_{baza}^2) + C_H^{FIX})^q}. \quad (3.11)$$

Considerînd două elaborări încorporate pe bază de FPGA se poate estima rapid câștigul/pierdere de calitate $F_Q = \frac{Q_{EmS_1}}{Q_{EmS_2}}$ a unei arhitecturi față de alta:

$$F_Q = \frac{(FPGA_{time2})^{1-q}}{(FPGA_{time1})^{1-q}} \cdot \frac{(C_{FPGA2} + k_1 C_{CONV} + k_2 C_{MEM} + c \cdot (S_{min} + r \cdot \frac{D_{I/O}}{D_{I/O \text{ Baza}}} \cdot L_{baza}^2) + C_H^{FIX})^q}{(C_{FPGA1} + k_1 C_{CONV} + k_2 C_{MEM} + c \cdot (S_{min} + r \cdot \frac{D_{I/O}}{D_{I/O \text{ Baza}}} \cdot L_{baza}^2) + C_H^{FIX})^q}$$

Analiza cantitativă a calității EmD prezentată în acest paragraf poate servi la estimarea câștigului/pierderii de calitate a unei abordări arhitecturale în raport cu una de alternativă. Folosind relațiile obținute mai sus estimarea poate fi efectuată atât pentru arhitecturi de alternativă pe bază de MCU cât și pentru arhitecturi de alternativă pe bază de FPGA. În cazul analizei comparative a două arhitecturi de alternativă, una fiind pe bază de MCU iar alta pe bază de FPGA, factorul de calitate pentru arhitectura cu microcontroler se va calcula fie cu relația (3.8), fie cu (3.10) pentru a asigura un grad de exactitate comparabil cu exactitatea oferită de relația (3.11) în estimarea factorului de calitate pentru arhitectura cu FPGA.

3.2 Dispozitiv de înregistrare și indicare a radiației UV

Schema bloc a dispozitivului este prezentată în figura 3.3 și este realizată conform structurii virtuale III (fig. 2.4) cărei îi corespunde realizarea fizică structura III (fig. 2.12).

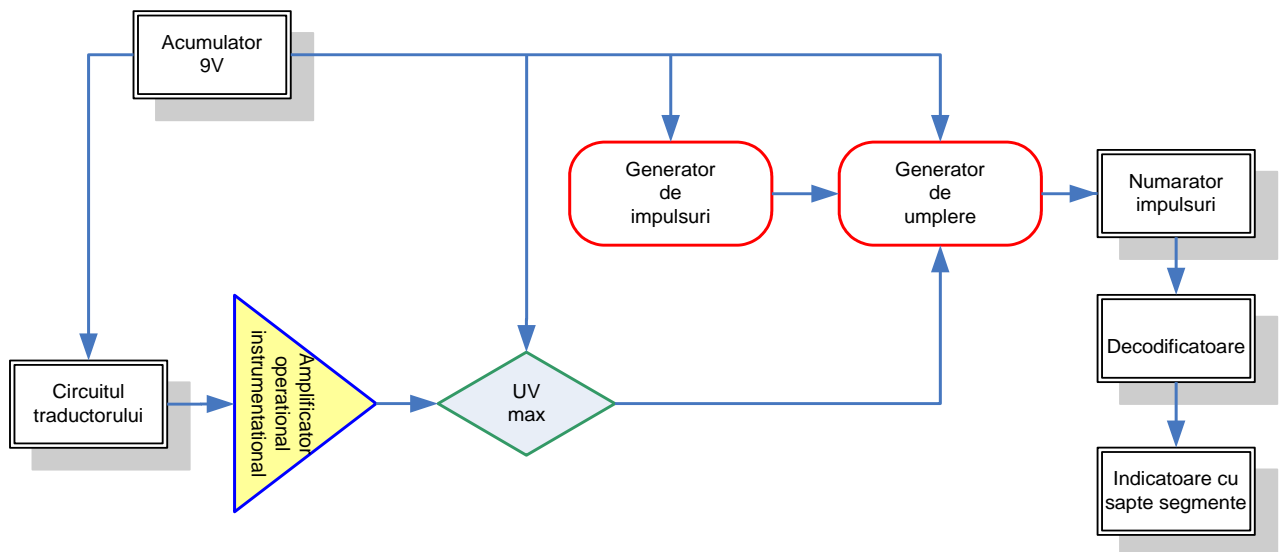


Fig.3.3. Schema bloc a dispozitivului

În elaborarea acestui dispozitiv a fost pus accent pe costul minim de realizare. Calitatea dispozitivului a fost analizată sub aspect de cost, deci $q=1$ și expresia (2.1) ea forma: $Q = 1/C$. unde C_1 – costul dispozitivului în care UC a fost realizată pe componente discrete, C_2 - în bază de microcontroler.

$$F_Q = \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{C_2}{C_1} = \frac{14}{13} = 1,077, \text{ costul a fost exprimat în unități convenționale.}$$

Vizînd cîștigul obținut și tinînd cont de simplitatea relativă a dispozitivului necesar de elaborat a fost aleasă varianta realizării UC în bază de elemente discrete.

În calitate de senzor de radiație ultravioletă a fost utilizată structura diferențială elaborată în cadrul Laboratorului de Micro-Optoelectronică [47-49], structura senzorului UV este prezentată în figura 3.4. Suprafața activă a senzorului de tip fotodiodă cu structură p-n, MOS sau Schottky se divizează în două fotoelemente identice. Unul din elemente este acoperit cu un strat transparent pentru radiația vizibilă și infraroșie și absolut opac față de radiația ultravioletă. Fotoelementele se conectează diferențial la rezistența de sarcină 7. Fotocurentul I_1 al primului element este format de tot spectrul fluxului incident, iar fotocurentul I_2 al elementului doi - numai de componentele vizibilă și infraroșie a radiației solare. Conectarea diferențială a elementelor senzorului la sarcină produce excluderea din fotorăspuns a componentelor vizibilă și infraroșie comune pentru ambele elemente. În rezultat, fotorăspunsul senzorului este proporțional numai cu intensitatea radiației ultraviolete din fluxul incident.

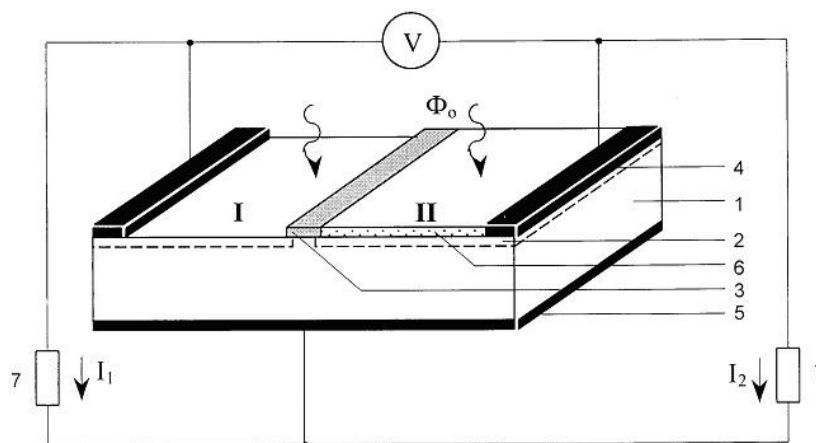


Fig. 3.4 Structura senzorului de radiație UV

1 – regiunea p; 2 – regiunea n; 3 – strat SiO₂; 4 – contacte metalice frontale;
5 – contact metalic de pe spate; 6 – strat ZnS; 7 – rezistențe de sarcină.

Senzorul de radiație UV diferențial, a fost confecționat din Si monocristalin cu joncțiune p-n superficială. Joncțiunea a fost formată prin difuzie cu grosimea $d \leq 0.1 \mu\text{m}$. Pentru a separa joncțiunea p-n în două părți egale, s-a folosit un strat SiO₂ 3 sub formă de fâșie, creat prin metodele de oxidare termică și fotolitografie. Acest strat se utilizează în calitate mască în procesul de difuzie. Contactele metalice 4 și 5 sunt confecționate din Al + Ni.

Cu scopul selectării unui material optimal pentru confecționarea stratului 3, opac pentru radiația UV și transparent pentru domeniul vizibil și infraroșu, au fost cercetate peliculele subțiri din SnO₂, ZnO și ZnS depuse pe plachete subțiri de sticlă.

În figura 3.5 sunt prezentate spectrele de transparență ale acestor structuri. Se vede ca cele mai potrivite sunt peliculele din ZnS cu o grosime de $\sim 1 \mu\text{m}$. Ele sunt transparente pentru radiația cu lungimea de undă $\lambda > 0.45 \mu\text{m}$ și, practic, absorb toată radiația ultravioletă cu $\lambda < 0.36 \mu\text{m}$. În plus la aceasta, peliculele ZnS sunt formate prin metoda evaporării termice în vid.

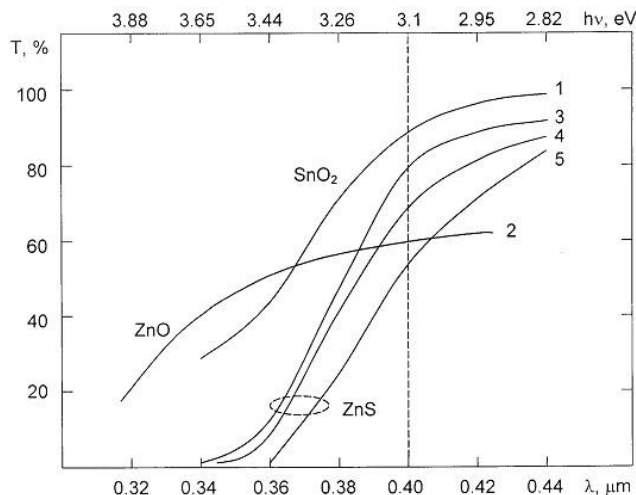


Fig. 3.5 Spectrele de transparență ale structurilor

- 1 – sticlă SnO_2 ; 2 – sticlă ZnO ($1 \mu\text{m}$); 3 – sticlă ZnS ($0.43 \mu\text{m}$);
4 – sticlă ZnS ($0.76 \mu\text{m}$); 5 – sticlă ZnS ($1 \mu\text{m}$).

Deoarece practic e imposibil de a confecționa două fotoelemente cu caracteristici volt-amperice identice și pentru a exclude influența absorbției radiației violete ($0.4 < \lambda < 0.45$), în stratul din ZnS , care e la nivel de $\sim 20\%$ (vezi figura 3.5, curba 5), a fost utilizată schema de măsurare prezentată în figura 3.6.

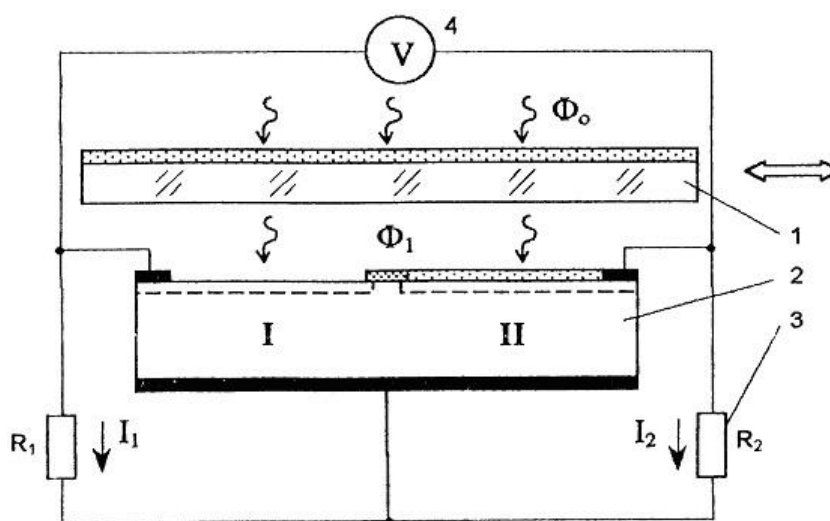


Fig. 3.6 Schema de măsurare

- 1 – sticlă cu strat ZnS ; 2 – senzor diferențial;
3 – rezistențe de sarcină; 4 – milivoltmetru.

Senzorul de radiație UV, conectat diferențial, este acoperit cu o placă de sticlă 1, ce are pe ea un strat ZnS cu grosimea $d = 1 \mu\text{m}$. Destinația ei este excluderea din fluxul incident Φ_0 a domeniului spectral ultraviolet, precum și a 20% din radiația violetă (vezi figura 3.5, curba 5). În așa mod, fluxul Φ_1 , ce trece prin placa de sticlă, este absorbit în măsură egală de ambele elemente ale senzorului. Diferența dintre curenții I_1 și I_2 , cauzată de neidentitatea fotoelementelor senzorului de UV, este înlăturată prin acordarea rezistenței variabile de sarcină $R_1 - R_2$. În acest caz semnalul diferențial înregistrat de milivoltmetrul 4 este egal cu zero. La înlăturarea plăcii 1 elementele senzorului vor avea fotocurenți diferiți. Curentul I_1 va fi proporțional cu tot spectrul fluxului incident Φ_0 , iar curentul I_2 - cu spectrul fluxului Φ_1 , mărginit din partea lungimilor de undă mici de curba absorbției optice fundamentale în ZnS. Distribuția spectrală a fotorăspunsurilor elementelor senzorului de UV e prezentată în figura 3.7. Se observă că semnalul diferențial, fixat de milivoltmetru 4, e format de diferența dintre fotocurenții elementelor (suprafața hașurată). Deoarece pragul absorbției fundamentale în ZnS nu are o pantă absolut verticală, nu toată radiația UV este fixată în semnalul diferențial. Circa 20% din fotonii cu lungimea de undă $0.36 < \lambda < 0.4 \mu\text{m}$ sunt înregistrați de ambele elemente și nu-și aduc aportul său în formarea semnalului diferențial. Însă, tot 20% din fotonii domeniului vizibil cu $0.4 < \lambda < 0.45 \mu\text{m}$ nu sunt înregistrați de elementul II acoperit cu ZnS, dar se absorb în elementul I fără ZnS și, deci, compensează partea fluxului UV pierdut. În așa mod, putem afirma ca fosemnalul diferențial al senzorului este responsabil numai de intensitatea radiației ultraviolete din fluxul incident.

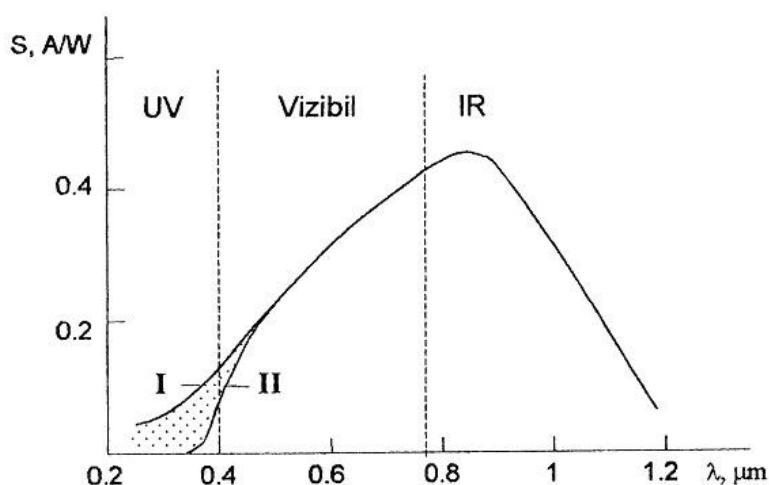


Fig. 3.7 Distribuția spectrală a fotorăspunsurilor elementelor senzorului de UV

Trebuie să menționăm, că valoarea absolută a semnalului diferențial depinde de aria suprafeței fotoactive a senzorului. Senzorii confecționați au aria suprafeței fotoactive a fiecărui element $S = 0.84 \text{ cm}^2$. Puterea incidentă constituie $\Phi_0 = 80 \text{ mW/cm}^2$. Pentru rezistența de sarcină

$2 \times 100 \Omega$ semnalul diferențial are valoarea $U_{\text{dif}} \approx 1 \text{ mV}$. Sensibilitatea spectrală variază în intervalul $S_{\lambda=0.4} = 0.101 \text{ A/W}$ și $S_{\lambda=0.34} = 0.031 \text{ A/W}$.

Alimentarea dispozitivului elaborat are loc de la un element galvanic sau acumulator de 9 V. Radiația optică incidentă se aplică pe senzorul de radiație UV plasat în vârful cutiei (vezi figura A.2.1). În continuare semnalul diferențial de pe circuitul traductorului se aplică la intrările amplificatorului instrumentațional unde are loc ridicarea nivelului tensiunii până la valoarea necesară pentru efectuarea măsurărilor. În continuare semnalul trece printr-un circuit de decizie care permite indicarea valorii radiației UV sau a valorii maxime ce poate fi măsurată. În dependență de valoarea maximă indicată, utilizatorul poate determina starea acumulatorilor (încărcarea totală corespunde pentru 100 unități). Apoi semnalul se aplică la intrarea unui generator de umplere dirijat de un generator de impulsuri dreptunghiulare de frecvență și umplere constantă. Impulsurile se aplică permanent la intrarea generatorului de umplere, care generează o consecutivitate de impulsuri dreptunghiulare, frecvența cărora depinde de doza radiației UV. Atâta timp cât generatorul de umplere generează „1” – logic, la ieșirea lui trec impulsurile generate de generatorul de impulsuri, în semiperioada „0” – logic, la ieșire nu trece nici un impuls. De la ieșirea generatorului de impulsuri de umplere, semnalul se aplică la un numărator. Numărul de impulsuri dat de numărător este direct proporțional cu valoarea radiației UV aplicate la intrare sau cu starea acumulatorilor. În continuare semnalul se aplică la un circuit de decodificare, apoi la dispozitivul de afișare. În calitate de panou de afișare se utilizează un set de indicatoare α - numerice de consum redus.

Schema electrică principală a dispozitivului proiectat este prezentată în figura A.1.1 (anexa 1). Dispozitivul se include în lucru cu ajutorul întrerupătorului SA 2. În calitate de traductor de radiație UV servește un senzor diferențial, tehnologia de confecționare a căruia nu permite obținerea unor brațe absolut identice. Deci pentru echilibrare trebuie construit un circuit special care permite ajustarea fină a punctului de „0”. Circuitul traductorului e construit în baza elementelor R1-R6, C1 și S_{RUV} . Unde R4 și R6 sunt rezistențe variabile, R4 efectuează ajustarea brută, R6 reprezintă o rezistență variabilă ce asigură reglarea fină.

Amplificarea semnalului până la nivelul necesar pentru măsurare, are loc cu ajutorul unui amplificator instrumentațional construit în baza amplificatoarelor operaționale DA1.1-DA1.3 și rezistențelor R9-R14. Unde DA1.1 și DA1.2 reprezintă un amplificator operațional diferențial de bufer, iar DA1.3 amplificator operațional tipic necesar pentru conversia tensiunii de intrare diferențiale în tensiune nesimetrică pe rezistența de ieșire R17, [50]. Semnalul diferențial se aplică la intrările 3 (DA1.1) și 5 (DA 1.2). Pentru ajustarea coeficientului de amplificare se utilizează o singură rezistență variabilă R9, căderea de tensiune pe care se determină din

diferența semnalelor de intrare și este $E_1 - E_2$. Iar curentul care trece prin R_9 și rezistențele $R_{10} = R_{11}$ este dat de expresia:

$$I = \frac{E_1 - E_2}{R_9} \quad (3.12)$$

Tensiunea diferențială de ieșire $E_{ieș}$ se determină din căderea de tensiune totală pe acest lanț de rezistențe:

$$E_{ieș} = I(R_9 + 2R_{10}) = \frac{E_1 - E_2}{R_9} (R_9 + 2R_{10}) = E_1 - E_2 \left(1 + 2 \frac{R_{10}}{R_9} \right) \quad (3.13)$$

Coeficientul de amplificare a schemei, determinat de primul etaj de amplificare și rezistența R_9 este:

$$K_1 = 1 + 2 \frac{R_9}{R_{10}} \quad (3.14)$$

Coeficientul de amplificare determinat de etajul doi de amplificare este:

$$K_2 = \frac{R_{15}}{R_{12}} \quad (3.15)$$

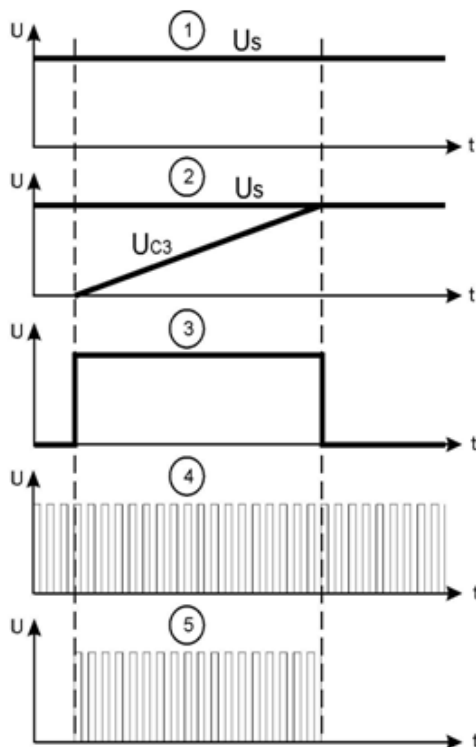


Fig. 3.8 Forma semnalelor electrice în diferite puncte ale schemei electrice principale

unde $R_{15} = R_{14}$ iar $R_{12} = R_{13}$, iar coeficientul de amplificare total este:

$$K = K_1 \times K_2 \quad (3.16)$$

Semnalul amplificat cu ajutorul comutatorului SA 1 se aplică la circuitul de măsurare. SA1 permite selectarea regimului de indicare: doza radiație UV sau valoarea maximă ce poate fi măsurată.

Semnalele în diferite puncte ale schemei electrice principale sunt prezentată în figura 3.8 [51]. Semnalul amplificat se integrează cu ajutorul capacității C_2 (1) și se aplică la intrarea inversată a unui comparator construit în baza DA 1.4. Forma semnalului pe intrarea directă e prezentat în (2) și este dat de circuitul RC: R_{18} , V_{t1} , C_3 . Unde R_{18} și V_{t1} reprezintă un stabilizator de curent. În cazul dat, a fost utilizat un convertor analog-digital clasic care utilizează două generatoare de impulsuri dreptunghiulare. Unul de frecvență joasă construit în baza

elementelor DD1.3, DD1.4, R_{21} , R_{22} , C_4 care generează impulsurile de permisiune (3) și unul de frecvență înaltă, numit „de impulsuri de umplere” construit în baza elementelor DD1.1, DD1.2, R_{24} , C_5 (4). Rezultatul suprapunerii semnalelor generate de aceste două generatoare e prezentat în (5). În

continuare secvența de impulsuri, numărul cărora e proporțional cu tensiunea analogică la intrare, se aplică la intrarea 15 a numărătoarelor DD2, DD3, după care la decodificatoarele DD4, DD5 și, în final, la indicatoarele α - numerice HG1, HG2.

Dispozitivul are destinație medicală și permite înregistrarea și indicarea dozei de radiație UV. Este dotat cu element galvanic sau acumulator. Informația se indică la un panou α - numeric în baza a doi digiți. Cu toate acestea dispozitivul este constuit pe elemente discrete și are un șir de neajunsuri caracteristice unei aplicații portabile: consum excesiv de curent ~ 4 mA, nu are regimuri de lucru suplimentare, gabarite masive.

Aspectul exterior al dispozitivului de înregistrare și indicare a radiației UV este prezentat în figura A.2.1 (anexa 2).

O variantă avansată cu $F < 1$ care poate avea aspect exterior modern, funcționalitate sporită, gabarite și masă reduse poate fi executată utilizând în calitate de nucleu microcontrollerul utilizând aceleași structuri virtuale și funcționale. Permite modernizarea dispozitivului dat până la nivelul celor prezentate în [52-54], efortul fiind nesemnificativ.

3.3 Ionizatoare de aer

Au fost propuse trei variante de realizare a dispozitivului de aeroionizare artificială:

1. Unitatea centrală realizată pe bază de componente discrete, cu un număr minim de funcții.
2. Unitatea centrală realizată pe microcontroler cu șase regimuri de lucru și afișare simbolică cu ajutorul indicatoarelor α -numerice.
3. Unitatea centrală realizată pe microcontroler cu nouă regimuri de lucru și afișare simbolică cu ajutorul unui ecran LCD 16x2.

În mod sigur prima variantă are calitatea maximă, fiind cea mai ieftină (calitatea este anaizată numai sub aspect de cost $q=1$). Prin urmare au fost analizate minuțios variantele doi și trei (în ambele realizări în calitate de UC a fost propus spre utilizare microcontrolerul PIC16F628). Analiza caității a fost efectuată numai pentru bocal de comandă și control a tensiunii, deoarece blocul de multiplicare a tensiunii este invariant pentru toate realizările.

$$F_Q = \frac{Q_2}{Q_3} = \frac{C_3}{C_2} = \frac{20.5}{15.5} = 1,323$$

Deoarece câștigul $F > 1$ rezută că soluția optimală este oferită de realizarea aplicației cu microcontroler conform variantei doi. Totuși a fost realizată și varianta trei deoarece poate fi simplificat blocul de alimentare, ceea ce oferă comoditate în navigare iar indicarea cu ajutorul unui ecran simbolic 16x2 este mai informativă.

3.3.1 Ionizator cu trei regimuri de lucru și ajustare fină a tensiunii de ieșire

Schema bloc a ionizatorului de aer cu trei regimuri de lucru este prezentată în figura 3.9 [55, 56] și reprezintă o realizare simplificată a acestui tip de dispozite. Din acest motiv a fost elaborat conform schemei structurale virtuale II (fig. 2.3) și realizat conform structurii fizice II (fig. 2.11) utilizând metodici similare celor din paragraful precedent.

Dispozitivul se alimentează de la tensiune de rețea 220 V, 50 Hz. Tensiunea de rețea se redresează și se filtrează, după ce se aplică la prestabilizatorul de 70 V, după care are loc coborîrea tensiunii până la valoarea de lucru cu ajutorul unui stabilizator de 12 V.

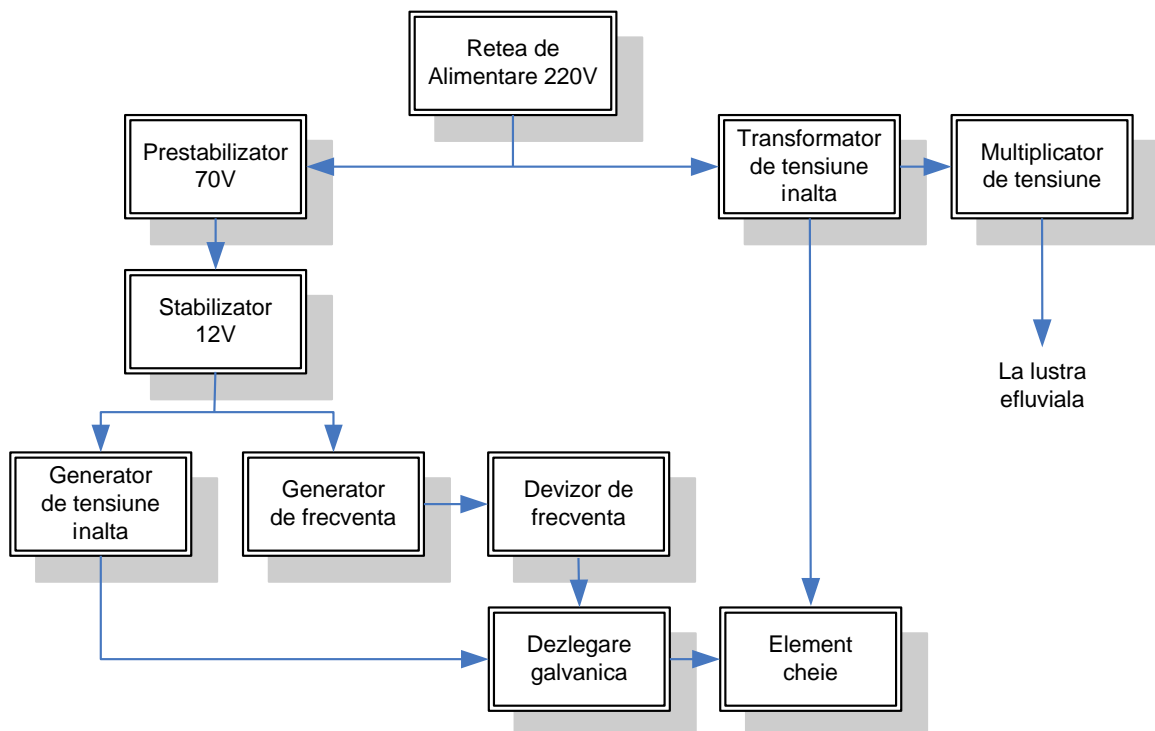


Fig. 3.9 Schema bloc a ionizatorului de aer cu trei regimuri de lucru.

Generatorul de tensiune înaltă generează impulsuri de formă dreptunghiulară cu frecvență reglabilă și umplere constantă figura 3.10.a [57, 58]. Frecvența impulsurilor generate poate fi modificată de utilizator, în așa mod a fost realizată reglarea fină a tensiunii de ieșire. Secvența de impulsuri dată de generatorul de tensiune înaltă, se aplică la intrarea unui bloc de dezlegare galvanică, care asigură dezlegarea între circuitul de dirijare cu tensiune de bord 12 V și tensiunea de alimentare a transformatorului de tensiune înaltă ~ 290 V.

Metodicile de tratament recomandă utilizarea aeroionozatoarelor până la 30 min zilnic pentru profilaxie și până la 3 ore zilnic în cazul tratării bolilor cronice. Acest fapt a determinat dotarea dispozitivului cu un timer. Timerul este construit în baza unui generator de frecvență fixată (figura 3.10.b) și un divizor de frecvență (figura 3.10.c). La includerea în funcție a dispozitivului timerul va lucra un timp fixat, circa 30 min (se alege cu ajutorul circuitului RC). La expirarea timpului se blochează trecerea

impulsurilor de frecvență de la generatorul de tensiune înaltă spre blocul de dezlegare galvanică. Deasemenea dispozitivul permite lucru în regim $\frac{1}{4}$ figura 3.10.d, care se alege cu ajutorul unui întrerupător.

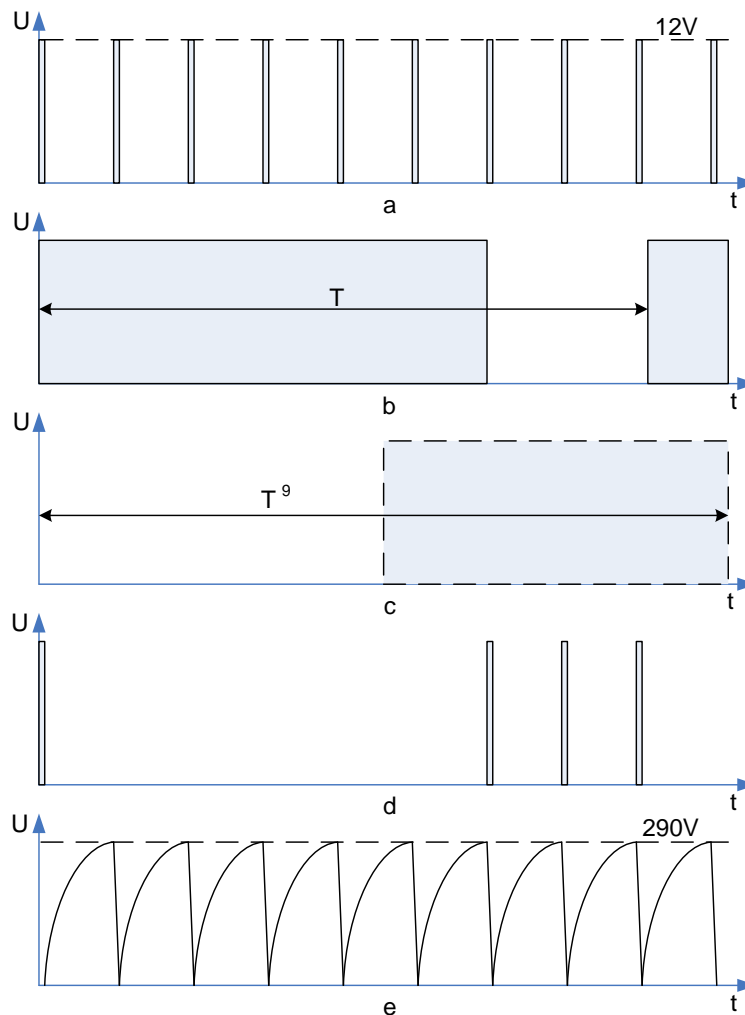


Fig. 3.10 Forma semnalelor electrice în diferite puncte ale schemei bloc

Blocul de dezlegare galvanică dirijează cu un element cheie, care la rândul său creează consecutivitatea de impulsuri de tensiune 290 V în circuitul transformatorului de tensiune înaltă figura 3.10.e.

Impulsurile de tensiune înaltă date de transformatorul de tensiune înaltă se aplică la un multiplicator de tensiune, ce are destinație dublă: redresarea și multiplicarea tensiunii. La ieșirea multiplicatorului de tensiune se conectează lustra efluvială.

Scema electrică principală a dispozitivului este prezentată în figura A.1.2. Dispozitivul elaborat se alimentează de la tensiunea de rețea 220 V, 50 Hz., prezența rețelei se indică cu ajutorul ledului VD6. Tensiunea alternativă se redresează cu ajutorul redresorului D1-D4.

Tensiunea redresată se filtrează cu ajutorul capacităților C2, C3 și nu depășește valoarea de 70 V (tensiune determină de valoarea capacității C1). Tensiunea de 12 V pentru alimentarea schemei de conducere se obține cu ajutorul stabilizatorului de tensiune confecționat în baza elementelor R1, VT1, C4 și stabilitronul D5 (blocul I).

Schema electrică principială este conceptual gândită pentru a obține tensiune reglabilă la ieșire, de aceea a fost utilizat un generator de frecvență, care permite reglarea perioadei impulsurilor. Generatorul este montat în baza circuitului DA1.1, rezistențele fixe R3-R5, R10 diodele VD14, VD15 capacitatea C4 și rezistența variabilă R6 cu ajutorul căreia se reglează frecvența de generare (blocul II). Impulsurile de curent se aplică prin rezistența R11 la ledul optocuplului VD16 ce are funcția de dezlegare galvanică a circuitului de tensiune joasă de cel de tensiune înaltă (blocul IV).

Dispozitivul este dotat cu un timer care la includerea în funcțiune limitează durata de funcționare a sursei de tensiune înaltă. Timerul este compus din două blocuri:

- Generator de impulsuri dreptunghiulare construit în baza circuitului DA1.2, componentele R14-R17, C9 și rezistența variabilă R18 cu ajutorul căreia se poate modifica durata de funcționare a taimerului.
- Divizorul de frecvență în baza circuitului DD1. În momentul includerii dispozitivului în funcțiune cu ajutorul capacității C17 și R24 se formează un impuls de reset a circuitului, la toate ieșirile lui trec în "0" logic. Semnalul de "0" logic de la ieșirea 14 închide tranzistorii VT7 și VT8. Semnalul "1" logic de la ieșirea 14 deschide tranzistorul VT3, astfel se blochează lucrul sursei de tensiune înaltă. Timerul se include în lucru cu ajutorul întrerupătorului SA2, SA3. În acest moment pe colectorul tranzistorului VT6 apare tensiunea de "0" logic, care, aplicată la intrările 1 și 9 a circuitului DD1, permite funcționarea acestuia. Semnalul de la ieșirea 7 a generatorului de frecvență se aplică la intrarea 2 a divizorului. Lucrul timerului se indică cu ajutorul ledului VD23 care licărește cu frecvența generatorului DA1.2 divizată o dată, ieșirea 3 (DD1).

La moment ce expiră timpul de funcționare dat de timer (fig.3.8c, „0” logic trece în „1” logic), la ieșirea 14 (DD1), se deschid tranzistorele VT7 și VT8, semnalul de "0" logic de la colectorul tranzistorul VT7 închide tranzistorul VT6 (în așa mod se memorizează starea în interiorul circuitului DD1), tensiunea de "1" logic de la ieșirea 14 (DD1) deschide tranzistorul VT3, care scurtcircuitează impulsurile de curent generate de circuitul DA1.1, astfel se blochează

funcționarea sursei de tensiune înalte. Starea de blocare se indică cu ajutorul ledului VD27, care se conectează la alimentare prin tranzistorul VT8 deschis.

Pentru menținerea constantă în timp a concentrației aeroionilor negativi, dispozitivul este înzestrat cu o funcție specială, care permite lucrul periodic a sursei de tensiune înalte. La comutarea SA1, impulsurile de frecvență mică generate de DA1.2 prin intermediul VD19 și R19 se aplică la baza tranzistorului VT3, în așa mod dispozitivul lucrează în semiperioade. Durata semiperioadelor de asemenea se reglează cu ajutorul potențiometrului R18 (blucul III).

Tensiunea se ridică cu ajutorul transformatorului Tr1, în bobina primară a căruia se induc impulsuri cu frecvența proporțională tensiunii de ieșire. Impulsurile de tensiune se obțin prin descărcarea capacității C7, care se încarcă prin rezistențele R7 și R12 și se descarcă prin bobina primară a transformatorului și tranzistorul cu efect de câmp VT4, dirijat de generatorul DA1.1 prin intermediul tranzistorului VT2 a optocuplului și rezistența R13 pe care se formează impulsurile de deschidere a tranzistorului. Tensiunea de 12 V necesară pentru deschiderea tranzistorului VT4 se obține cu ajutorul elementelor VD12, R8, R9 și stabiltronul VD13.

Tensiunea înaltă care se obține în bobina secundară a transformatorului se ridică până la valoarea necesară cu ajutorul multiplicatorului de tensiune compus din elementele C10-C13, C14 și VD17, VD22, VD24, VD25. Curentul de ieșire este limitat de rezistența de ieșire R28 (blocul IV).

Principiul de funcționare a dispozitivului este următorul:

La includerea în rețea sursa de alimentare lucrează în regim continuu, ledul VD6 de culoare verde indică conectarea dispozitivului la rețea, tensiunea de ieșire poate fi modificată cu ajutorul potențiometrului R3.

Dacă comutăm SA2 și SA3 dispozitivul trece în regim de lucru timer, regimul dat se indică cu ajutorul ledului VD23 și VD27. În moment ce la ieșire este tensiune înaltă, ledul VD23 (de culoare verde) licărește periodic, iar ledul VD27 (de culoare roșie) nu luminează. Când expiră lucrul timerului, la ieșire dispare tensiunea înaltă, ledul VD23 se stinge, iar ledul VD27 luminează. Lungimea semiperioadei se poate regla cu ajutorul potențiometrului R18. Pentru a trece în regimul ciclic e necesar de comutat SA1, lungimea semiperioadei se reglează de asemenea cu ajutorul potențiometrului R18.

Dispozitivul de aeroionizare artificială are următorii parametri:

- Continuu, cu valoarea tensiunii de ieșire stabilită de utilizator $U_{ies}=15\div 35$ kV;

- Periodic, cu umplerea $\frac{1}{4}$, adică $T_{\text{semiperioadă}}=4/16$ s;
- Regim de timer, cu durata funcționării fixată, $T_{\text{timer}}=30$ min;
- Masa 300 g;

Imaginea exterioară a blocului de comandă și a multiplicatorului de tensiune este prezentată în figura A.2.2. În [59, 60] sunt prezentate modele similare celui elaborat.

Dispozitivul este constuit în baza elementelor discrete și are un șir de dezavantaje, precum: lipsa regimurilor de lucru suplimentare care pot fi create de utilizator, nu este posibilă modernizarea fără reproiectare. O dezvoltare evidentă în baza componentelor noi permite modernizarea dispozitivului dat până la nivelul celor moderne și poate face dispozitivul mai performant ca aspect și funcționalitate.

3.3.2 Ionizator cu șase regimuri de lucru și ajustare fină a tensiunii de ieșire

O dezvoltare evidentă a elaborării anterioare este elaborarea unui dispozitiv multifuncțional care poate fi utilizat atât la tratarea sau profilaxia bolnavilor, precum și în

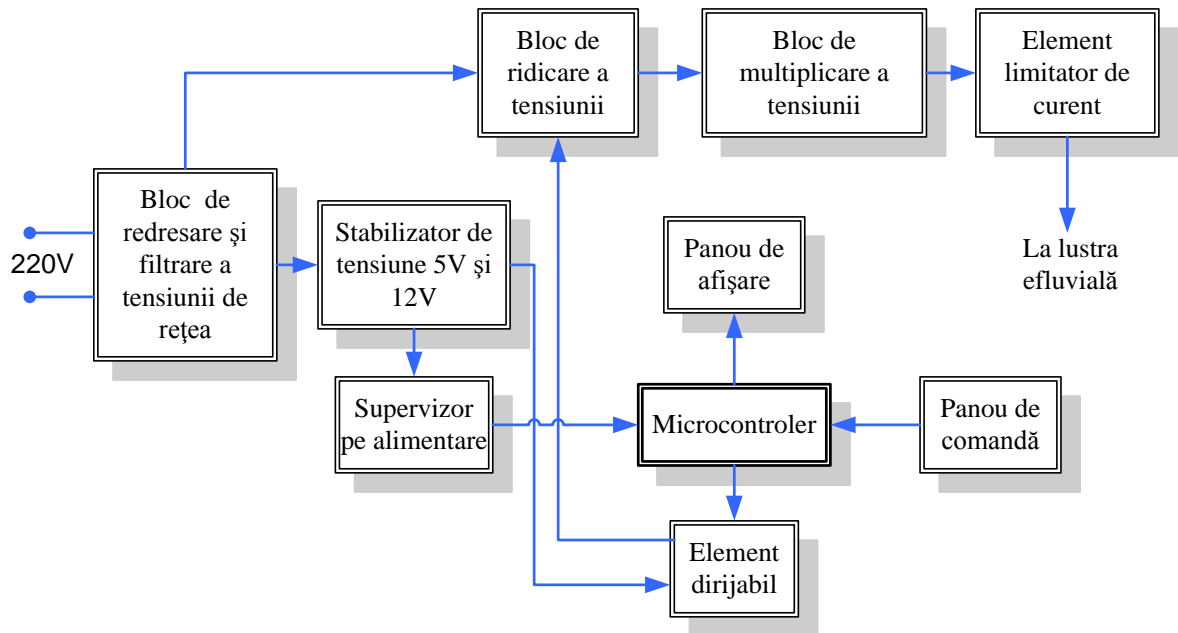


Fig. 3.11 Schema bloc a ionizatorului cu șase regimuri de lucru.

sectorul agrar la tratarea semințelor, nutrețurilor, la stimularea creșterii și dezvoltării animalelor și plantelor [61-64]. Ca rezultat a fost elaborat și confecționat un aeroionizator cu șase regimuri de lucru și ajustare fină a tensiunii de ieșire.

Cea mai simplă soluție pentru construirea unui dispozitiv multifuncțional este utilizarea structurii EMD în bază de MCU. În așa mod poată fi reduse considerabil gabaritele dispozitivului și numărul de componente utilizate, sporite fiabilitatea și se ușurează alegerea regimurilor și

parametrilor de lucru. Este construit conform schemei structurale virtuale II (fig. 2.3) și structura fizică II (fig. 2.11).

Schema bloc a dispozitivului de alimentare de tensiune înaltă figura 3.11 conține următoarele blocuri funcționale:

Bloc de redresare și filtrare a tensiunii de rețea. Dispozitivul se alimentează de la tensiunea de rețea 220V, 50Hz blocul dat redresează și filtrează tensiunea din rețea;

Stabilizator de tensiune de 5V și 12V. Tensiunea 310V se coboară până la o valoare intermediară de 70V. În continuare este realizat un stabilizator de 12V și unul de 5V;

Supervizor pe alimentare. Blocul dat urmărește pulsațiile pe alimentarea controlerului. În momentul includerii dispozitivului în rețea, până la stabilirea valorii de 5V la pinul de alimentare a microcontrolerului supervizorul nu permite funcționarea acestuia (în așa caz probabilitatea apariției erorilor de funcționare este nulă). În momentul dispariției tensiunii de alimentare supervizorul primul înregistrează această scădere și se inițializează procedura de memorizare a datelor în microcontroler;

Bloc de ridicare a tensiunii. Blocul dat permite ridicarea prealabilă a tensiunii de la 310V până la aproximativ 4÷8 kV, în dependență de valoarea tensiunii necesare la ieșire;

Element dirijabil. Dispozitivul dat este direct dirijat de microcontroler. Prin semnal de dirijare se înțelege o serie de impulsuri de o anumită frecvență proporțională cu tensiunea de ieșire;

Microcontroler. Servește drept nucleu a dispozitivului și îndeplinește următoarele funcții:

- generator de impulsuri de frecvență reglabilă, ceea ce asigură reglarea fină a tensiunii de ieșire;
- generează semnale de afișare (sunt utilizate indicatoare α -numerice);
- recepționează semnalele de comandă de la tastatură;
- memorizează parametrii setați de utilizator și regimul de lucru.

Panou de comandă. Cu ajutorul blocului dat se efectuează selectarea regimurilor și modificarea parametrilor de lucru;

Panou de afișare. Panoul de afișare are funcția de indicare a regimului selectat și valorii tensiunii de ieșire;

Bloc de multiplicare a tensiunii. Blocul dat are funcția de multiplicare a tensiunii generate de blocul 4 și ridicarea ei până la valoarea 15÷35 kV, în dependență de valoarea stabilită de utilizator;

Element limitator de curent. Blocul dat are funcția de limitare a curentului de scurtcircuit și protecția de electrocutare.

Schema electrică principală principală (fără schema intrare/ieșire conectată la conectorul XP1) e prezentată în fig. 1.3 (anexa 1). Aici pot fi evidențiate trei noduri funcționale de bază:

Nodul de alimentare. Este construit fără transformator. Acest fapt este acceptabil deoarece consumul total de curent nu depășește 15 mA. Puntea de diode VD1 redresează tensiunea de rețea. Rezistența R1 limitează amplituda impulsurilor de încărcare a condensatorului C1. Tensiunea redresată prin rezistențele limitatoare R14, R15 alimentează cascada de ieșire de tensiune înaltă construită pe tranzistorul cu efect de câmp VT4, iar prin rezistențele R2-R4 (pe care cad aproximativ 240 V) – stabilizatorul de tensiune +12V construit în baza tranzistorului VT1. Din +12V cu ajutorul stabilizatorului integral DA1 se obține tensiunea +5V pentru alimentarea circuitelor integrate.

Nodul de comandă. Este construit în baza microcontrolerului PIC16F628 (figura A.1.3). Datele despre regimul de lucru fixat de utilizator se păstrează în memoria interioară a controlerului. Aceasta permite conectarea repetată a dispozitivului fără a seta de fiecare dată regimul de lucru și parametrii acestuia. Pentru a identifica din timp momentul când e necesar de efectuat memorizarea, se utilizează două comparatoare, încorporate în interiorul microcontrolerului. La intrările lor (intrările 1 și 18 DD1) se aplică tensiunea din diagonalele punților de rezistență R18-R21, în timpul lucrului tensiunea la intrarea 18 DD1 trebuie să fie mai mare decât la intrarea 1 DD1. După deconectarea tensiunii de alimentare, tensiunea pe 18 DD1 scade brusc, iar pe șina de alimentare și paralel pe intrarea 1 DD1 rămâne practic constantă o perioadă de timp datorită circuitului VD3, C7. În momentul în care diferența de potențial pe intrările 1 și 18 DD1 și-a schimbat polaritatea, controlerul inițiază memorizarea datelor.

La intrările 10-13 a microcontrolerului se aplică semnalele de la patru butoane fixate pe cablajul de intrare/ieșire figura A.1.4, cu ajutorul cărora are loc comanda cu dispozitivul dat. Informația despre regimul de lucru selectat și parametrii acestuia se indică cu ajutorul a două indicatoare α - numerice care se află pe același cablaj imprimat prin intermediul unui registru de deplasare DD2. Afișarea se efectuează în regim dinamic.

Convertorul de tensiune înaltă este construit în baza tranzistorilor VT2-VT4 și transformatorul T1. Impulsurile dreptunghiulare cu frecvența 150-350 Hz, generate de microcontrolerul DD1 la ieșirea 8, sunt amplificate de tranzistorii VT2 și VT3 până la amplituda 12V. Circuitul de diferențiere C8, R13 scurtează aceste impulsuri după care ele se aplică la grila

tranzistorului cu efect de câmp VT4. Transformatorul T1 este inclus în circuitul drenei (înfășurarea 5, 7). Dioda VD4 are rol de dempfer.

Impulsurile de pe înfășurarea secundară (9, 11) a transformatorului sunt aplicate la redresorul multiplicator construit în baza elementelor VD6-VD11 și C10-C15.

În dependență de frecvența impulsurilor, aplicate la ionizator, tensiunea la ieșire se schimbă în intervalul 15-35kV, în caz de necesitate tensiunea poate fi mărită adăugând etaje de multiplicare.

Cablajul imprimat de bază este prezentată în figura A.1.5, este confecționat dublustrat iar componentele sunt plasate pe ambele straturi față/spate în dependență de gabaritele acestora.

Cablajul imprimat a modului de comandă și afișare este confecționat conform schemei prezentate în figura A.1.4. Apăsarea unei taste SB1-SB4 nu numai că aplică o comandă la microcontroler, ci comutează și un LED corespunzător HL1-HL4, ceea ce dă posibilitate utilizatorului să se convingă vizual că butonul a fost tastat. Rezistențele R1-R8 limitează curentul segmentelor indicatoarelor α - numerice cu catod comun HG1 și HG2.

Ca și în cazul cablajului imprimat de bază, placa de intrare/ieșire este dublustrat. Imaginea ei și plasarea elementelor este prezentată în figura A.1.6. Placa se fixează pe partea frontală a cutiei în așa mod ca punctele zecimale ale indicatoarelor α - numerice HG1 și HG2 să fie în colturile de sus din stânga.

Utilizarea microcontrolerului permite de a îmbogăți substanțial spectrul de funcții al dispozitivului în vederea acoperirii cerințelor utilizatorilor de diferite categorii și în acest sens, de elaborat un dispozitiv multifuncțional.

Dispozitivul dat este înzestrat cu un set de regimuri, fiecare regim fiind indicat pe panoul de afișare, de asemenea este posibilă acordarea fiecărui regim în parte de către utilizator.

Descrierea regimurilor de lucru:

- I. Regimul de lucru continuu. La setarea acestui regim dispozitivul va lucra neîntrerupt pe parcursul prezenței tensiunii de rețea.
- II. Regimul de lucru ciclic. La setarea acestui regim dispozitivul va lucra în cicluri a câte un minut (adică în decursul unui minut la ieșire este tensiune, iar pe parcursul celuiilalt nu).
- III. Regimul Timer. La setarea acestui regim dispozitivul va lucra în regim continuu intervalul de timp stabilit (1-99 min).

- IV. Regimul periodic (1:x). La setarea acestui regim dispozitivul va lucra în regim periodic cu periodicitate de apariție a tensiunii la ieșire o secundă din “x”, x se fixează între 3 și 10 secunde.
- V. Regimul periodic timer. La setarea acestui regim dispozitivul va lucra similar cu regimul IV, însă un interval de timp stabilit de utilizator (1-99 min).
- VI. Regimul flux periodic. La setarea acestui regim dispozitivul va lucra în regim continuu cu mărirea lentă a tensiunii de ieșire în intervalul de la 15-35 kV și descreșterea acesteia de la 35-15 kV perioada de creștere descreștere 5 min.

Principiul de funcționare este următorul: la conectarea întrerupătorului SB1 ledul VD5 de culoare verde indică că dispozitivul este cuplat la rețea de alimentare, peste trei secunde dispozitivul intra în regim de lucru.

Nodul de selectare a regimurilor de lucru. Selectarea regimurilor se efectuează cu ajutorul butonului “Set” de pe panoul de indicare. În momentul tastării butonului “Set” dispozitivul intră în regim de selectare a celor șase regimuri, la ieșirea dispozitivului se instalează tensiunea de “zero” iar regimul de selectare se indică prin licărirea cifrelor și punctelor indicatoarelor α -numerice. Apăsând în continuare tasta “Set” se selectează regimul necesar. În cazul selectării regimului de timer (III) și a regimului periodic timer (V), durata de funcționare a timerului se alege în intervalul de 1-99 min, aceasta se înfăptuiește cu ajutorul butoanelor “Up” și “Dw”. La expirarea timpului fixat de utilizator dispozitivul intră în regimul “Sleep” în decursul căruia panoul indicator se stinge iar la ieșire se deconectează tensiunea înaltă. Pentru a scoate dispozitivul din acest regim este necesar de tastat orice buton, funcționarea v-a fi preluată în același regim setat. Pentru a ieși din regimul de selectare este necesar de ținut în stare apasată butonul “Set” în decurs de o secundă. La moment ce a fost selectat regimul necesar, cu ajutorul butoanelor “Up” și “Dw” se poate schimba numai valoarea tensiunii de ieșire a dispozitivului.

Tasta “Adj” se utilizează pentru a corectarea valoarea tensiunii indicate pe panoul de afișare cu valoarea reală măsurată a tensiunii la ieșire.

Transformatorul T1 cu multiplicatorul de tensiune înaltă și conectorul XS1 sunt montate într-o cutie aparte. Imaginea exterioară a aeroionizatorului, pentru tratament individual este prezentată în figura A.2.3, iar imaginea blocului de comandă și multiplicatorul de tensiune în figura A.2.4.

Dispozitivul dat reprezintă o variantă de trecere de la o aplicație simplificată prezentată în paragraful 3.3.1 la una mai avansată prezentată în 3.3.3. Conține toate elementele funcționale ale

primei variante însă este executat conform unei structuri EMD în bază de MCU. Neajunsul de bază îl constituie numărul redus de regimuri de lucru și modul de indicare a informației.

3.3.3 Ionizator cu nouă regimuri de lucru, alegerea individuală a parametrilor, ajustare fină a tensiunii de ieșire

În continuare prezentăm un dispozitiv multifuncțional [65-69]. Dispozitivul propus poate fi utilizat în diferite domenii, este simplu în exploatare și nu necesită cunoștințe speciale pentru

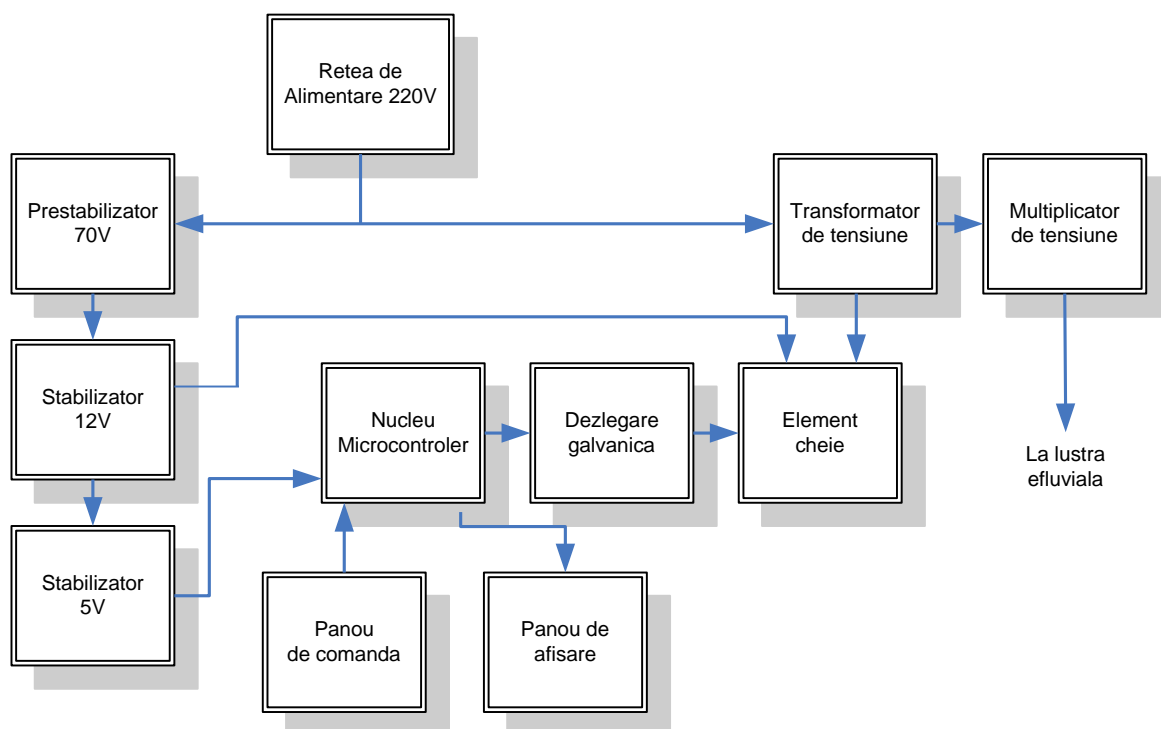


Fig. 3.12 schema bloc a ionizatorului cu nouă regimuri de lucru.

a fi comandat. Toată informația despre regimul ales și parametrii regimului dat se indică cu ajutorul unui ecran simbolic (16x2 simboluri), comenzile corespunzătoare se introduc cu ajutorul tastaturii ce se află pe panoul din față a dispozitivului figura 3.12.

Ionizatorul dat este executat conform schemei virtuale II (fig. 2.3) cu elemente din structura VI (fig. 2.7), structurile fizice II și Va corespunzătoare (fig. 2.11 și 2.14a). Figurii 2.3 îi corespunde unitatea centrală, panou de dirijare, panou de comandă și mediul de aplicație. Însă aplicația cere un spațiu mai larg de memorie pentru program și un număr mai mare de intrări/ieșiri pentru indicație ca în figura 2.7. Funcțional structura corespunde figurii 2.11 completat cu LMU și CPLD (I/O Hub) ca în figura 2.14a și poate fi realizată prin două metode: cu ajutorul unor componente suplimentare sau prin utilizarea un microcontroller dintr-o familie mai avansată. Am decis utilizarea microcontrollerului din familie mai performantă deoarece la

preț diferența este nesemnificativă însă ca număr de componente și respectiv fiabilitate este mai convenabil.

Dispozitivul se alimentează de la tensiune de rețea 220 V, 50 Hz. Tensiunea de rețea se redresează și se filtrează, apoi se aplică la prestabilizatorul de 70 V, după care are loc coborârea tensiunii până la valoarea de 12 V (tensiune necesară pentru funcționarea corectă a elementului cheie). Cu ajutorul stabilizatorului de 5 V se obține tensiunea de bord.

Nucleul dispozitivului este microcontrolerul, care îndeplinește funcția de interogare a periferiilor (panoul de comandă) și generare a semnalelor de comandă (panoul de afișare și elementul cheie prin intermediul blocului de dezlegare galvanică).

Tensiunea înaltă se obține cu ajutorul transformatorului de tensiune, circuitul de alimentare a căruia se închide cu ajutorul elementului cheie și multiplicatorului de tensiune.

Schema electrică principală a dispozitivului este prezentată în figura. A.1.7, unde pot fi evidențiate aceleași trei noduri principale:

Nodul de alimentare. Puntea de diode D1 redresează tensiunea de rețea, C10 permite trecerea numai a unei porțiuni din semiperioadă. Cu ajutorul elementelor R1, C1, VS2, T1, C11 este construit etajul de prestabilizare, la ieșirea căruia avem tensiunea de 12 V. Acest etaj de prestabilizare este strict necesar, deoarece tensiunea de intrare maxim admisibilă pentru stabilizatorul de 5 V (circuitul 78L05) trebuie să fie cuprinsă în intervalul 7-35 V.

Redresorul D2 redresează tensiunea de rețea care apoi se filtrează cu ajutorul capacității C2. Tensiunea redresată prin rezistențele limitatoare R3, R4 alimentează cascada de ieșire de tensiune înaltă construită pe tranzistorul cu efect de câmp VT1, R7, C3. Stabilizatorul de tensiune +12V este compus din elementele D3, R5, R6, VS1. Optronul U2 efectuează dezlegarea galvanică între schema de comandă de tensiune redusă și circuitul de generare a impulsurilor de tensiune înaltă.

Nodul de comandă. Este construit în baza microcontrolerului PIC16F628, datele despre regimurile de lucru fixate de utilizator se memorizează în memoria interioară a controlerului. Acesta permite conectarea repetată a dispozitivului fără a introduce de fiecare dată comenzile despre regimul de lucru și parametrii acestuia – lucrul va începe în regimul în care dispozitivul a funcționat până la deconectare. Pentru a recunoaște din timp momentul când e necesar de efectuat memorizarea, se folosesc două comparatoare, incorporate în interiorul microcontrolerului. La intrările lor (intrările 1 și 18 D4) se aplică tensiunea din diagonalele punților de rezistență R10, R11, C5, R16, R18, C8. În timpul funcționării tensiunea la intrarea 18 D4 trebuie să fie mai mare decât la intrarea 1 D4. După deconectarea tensiunii de alimentare,

tensiunea pe pinul 18 D4 scade brusc, iar pe șina de alimentare și paralel pe pinul 1 D4 rămâne constantă o perioadă de timp datorită componentelor C4, C5. În momentul în care diferența de potențial pe intrările 1 și 18 D4 schimbă polaritatea, controlerul începe memorizarea datelor.

La pinii 1-8 a conectorului J1 se aplică semnalele de la cinci butoane fixate pe cablajul de intrare-ieșire figura A.1.8, cu ajutorul cărora are loc comanda cu dispozitivul dat (*Esc*, *Ent*, *UP*, *DW* și *Adj* butonul de ajustare a tensiunii indicate la ecran cu tensiunea reală la ieșirea dispozitivului). Informația despre regimul de lucru selectat și parametrii acestuia se indică cu ajutorul unui ecran simbolic (16x2 simboluri). Ecranul se conectează cu placa de bază prin intermediul conectorului J1 (pinii 9-20).

Convertorul de tensiune înaltă este construit în baza tranzistorului VT1, C3 și transformatorul T1.

Cablajul imprimat de bază este prezentată în figura A.1.9.

Cablajul imprimat de intrare/ieșire figura A.1.10 este confecționată conform schemei prezentate în figura A.1.8.

Selectarea regimurilor. Dispozitivul permite selectarea diferitor regimuri la dorința utilizatorului, fiecare regim posedă parametri de lucru proprii care de asemenea pot fi selectați de utilizator. Selectarea regimurilor de lucru necesită organizarea unui meniu de comenzi figura 3.13.

La conectarea dispozitivului în rețea, pe ecran apare inscripția «*Main menu*» în rândul de sus și «*Parameter*» în rândul de jos. Trecerea de la alegerea parametrilor din meniul «*Parameter*» la alegerea regimului de lucru «*Regym*» și însăși regimul de lucru «*Work*» se efectuează cu ajutorul butoanelor «*Up*, *Dn*» (altfel spus cu ajutorul acestor butoane are loc deplasarea pe orizontală în interiorul meniului de comenzi). Deplasarea pe verticală se efectuează cu ajutorul butoanelor «*Esc*, *Ent*».

Să presupunem că avem nevoie să selectăm parametrii de lucru a dispozitivului: în acest caz în «*Parameter*» apăsăm tasta «*Ent*» și cu ajutorul butoanelor «*Up*, *Dn*» alegem: «*Time*» - timpul de lucru a timerului, «*Cycle*» - durata ciclului de lucru sau «*I:X*». Apăsând «*Ent*» ne deplasăm cu un nivel în jos și alegem valoarea din interiorul intervalului stabilit.

În meniul «*Regym*» apăsând «*Ent*» trecem la alegerea regimului de lucru a dispozitivului: «*Cont*» - regimul de lucru continuu, «*I:X*» - regimul de lucru în impuls, «*Float*» - dispozitivul funcționează în regim ciclic în care tensiunii de ieșire creștere-descreștere de la U_{min} - U_{max} .

După alegerea parametrilor de lucru dispozitivul se introduce în lucru din meniul «*Work*» prin apăsarea tastei «*Ent*». În continuare se selectează principiul de lucru: «*Infinite*» - dispozitivul lucrează în regim continuu atâta timp cât este prezentă tensiunea de rețea, însă timpul de lucru este limitat la 180 min de la ultima apăsare a unei taste; «*Timer*» - dispozitivul va lucra atâta timp cât a fost selectat în meniul «*Parameter*», la expirarea intervalului de timp stabilit la ecran se afișează inscripția «*Timer Off*»; «*Cycles*» - dispozitivul va lucra în cicluri, cu perioada ciclului ales în meniul «*Cycle*».

Reieșind din cele expuse mai sus, pot fi stabilite nouă regimuri diferite de lucru, parametrii și regimurile de lucru se indică pe ecran. În regimul de lucru a dispozitivului, apăsând tastele «*Up, Dn*», poate fi schimbată tensiunea de ieșire în limitele $U_{min}-U_{max}$ (15-25kV).

Date tehnice:

1. Alimentarea de la rețea 220V, 50 Hz;
2. Puterea de consum 8 W;
3. Curentul de lucru 0,09 A;
4. Tensiunea la ieșire 15-35 kV;
5. Dispozitivul este înzestrat cu nouă regimuri de lucru;
6. Regimurile se setează și se indică cu ajutorul unui ecran simbolic;
7. Fiecărui regim i se pot atribui parametri de lucru proprii;
8. Timpul de funcționare de la ultima apăsare pe orice tastă 180 min;
9. Dispozitivul este destinat pentru funcționare în încăperi uscate:
 - temperatura mediului înconjurător de la +5 până la +35 °C,
 - medii ce nu conțin gaze chimice active și aburi, distanța minimă de la tavan până la lustră 20 cm, distanța de la obiecte metalice $\geq 1,5$ m;

În figura A.2.5 e prezentată imaginea exterioară a dispozitivului elaborat și a blocului de multiplicare a tensiunii.

Exemple de ionizatoare cu mai multe regimuri de lucru pot fi găsite în rețeaua globală [70].

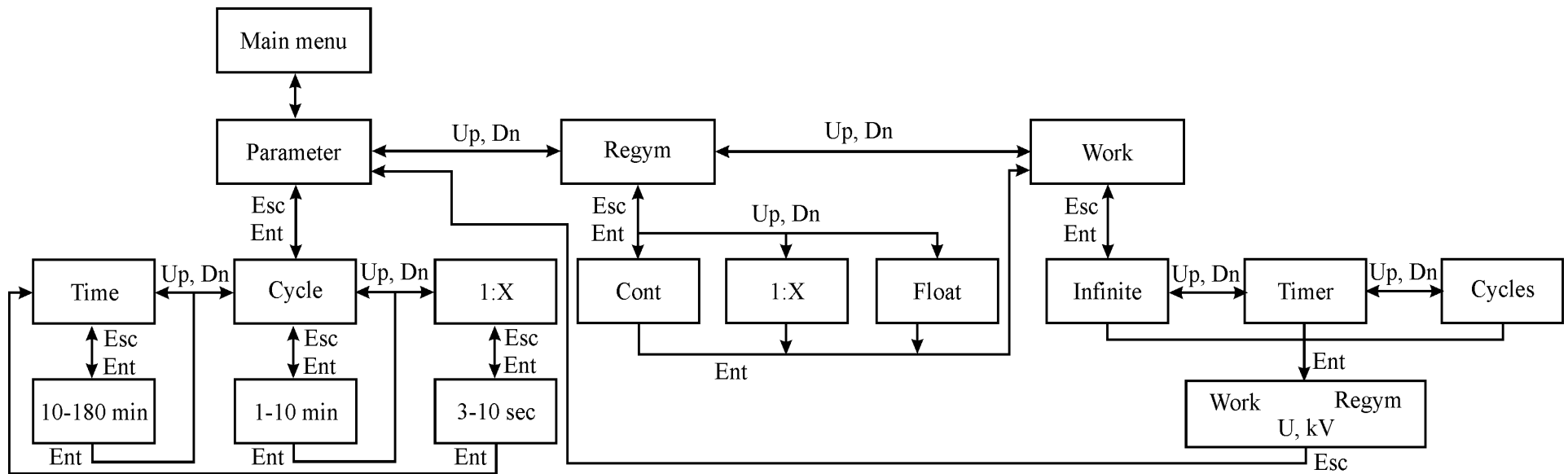


Fig. 3.13 Schema bloc ce reflectă organizarea meniului de comenzi.

3.4 Dispozitive de tratament cuantic

3.4.1 Teralaser D

În ultimii ani au apărut noi cerințe înaintate aparatelor cuantice cu destinație medicală, avînd drept scop diversificarea metodelor de tratament și domeniilor de aplicație. Sunt vizate în deosebi: frecvența, timpul de iradiere și puterea optică de emisie.

Luând în considerație cererea specialiștilor din diverse domenii ale medicinei și scopul lărgirii diapazonului posibilităților funcționale, a fost elaborat un nou dispozitiv cuantic digital, ce permite setarea și vizualizarea regimurilor de funcționare și corespunde celor mai ample metode de tratament.

În figura 3.12 este prezentată schema bloc a dispozitivului de tratament cuantic „Teralaser D” [71-74]. Este elaborată conform structurii virtuale III (fig. 2.4) și structurii fizice III (fig. 2.14).

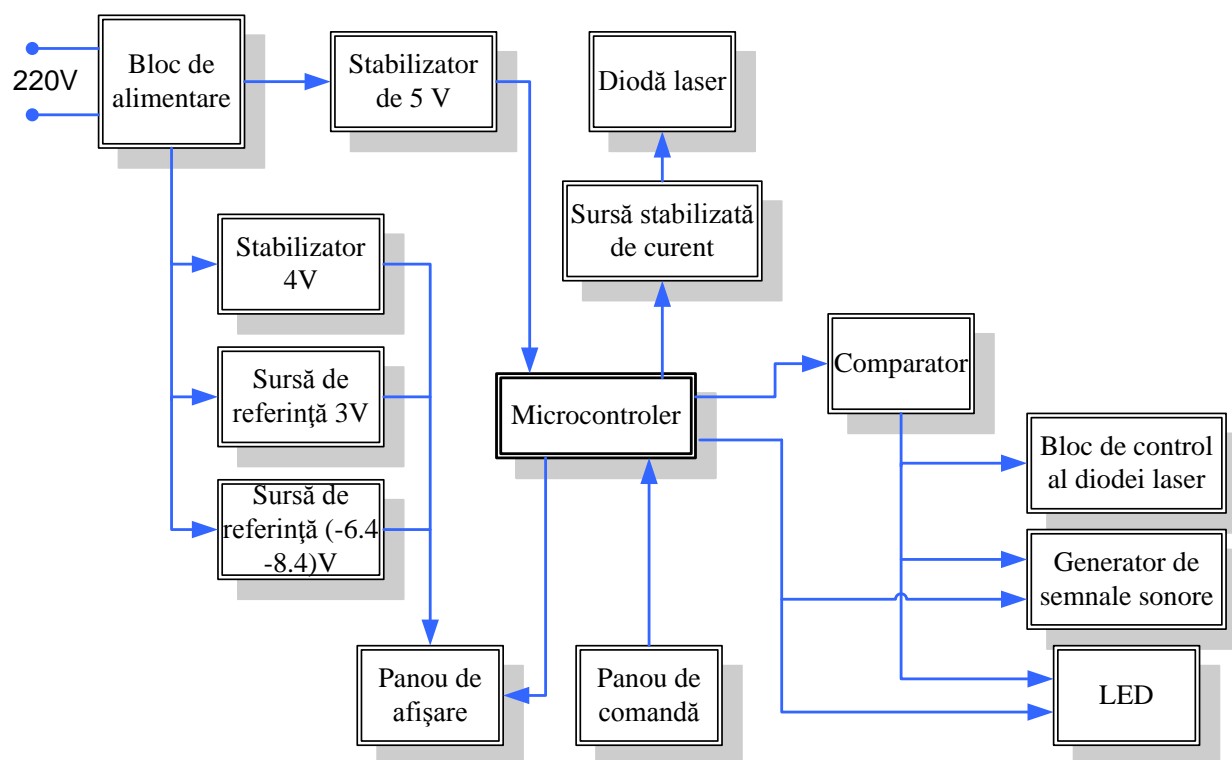


Fig. 3.14 Schema bloc a dispozitivului de tratament cuantic Teralaser D

Unde:

Bloc de alimentare. În dependență de laserul utilizat, pentru puterea maximă de emisie 50 mW, valoarea curentului variază în intervalul $60 \div 120$ mA. Ledul ce indică lucrul laserului (blocul 14) consumă de asemenea ~ 5 mA, iar restul schemei consumă aproximativ $10 \div 20$ mA. Astfel, curentul maxim constituie aproximativ 145 mA ceea ce impune necesitatea utilizării unui transformator.

Stabilizator 4V. Este necesar pentru activarea iluminării de fond a ecranului grafic (blocul 6).

Sursă de referință 3V. Sursă de tensiune suplimentară pentru funcționarea ecranului grafic.

Sursă de referință ($-6.4 \div -8.4$)V. Tensiunea de referință negativă reglabilă, care se alege în intervalul menționat pentru a asigura contrastul necesar ecranului LCD.

Stabilizator 5 V. Tensiunea de alimentare a microcontrolerului (blocul 7) și laserului (blocul 9).

Panou de afișare. Reprezintă un ecran LCD grafic, care vizualizează regimurile de lucru, parametri setați și timpul de funcționare a dispozitivului.

Microcontroler. Blocul dat efectuează operațiunile de comandă și control și generează semnalele de comandă blocurilor funcționale periferice.

Panou de comandă. Reprezintă un set de butoane cu ajutorul cărora se programează regimurile de lucru ale dispozitivului.

Sursă stabilizată de curent. Pentru a acoperi diverse metode de tratament, se prevede funcționarea diodei laser cu cinci praguri de putere a radiației optice emise: 5, 10, 20, 30 și 50 mW. Puterea optică de emisie se reglează prin curentul de lucru a laserului, care are cinci valori și care poate fi ajustat pentru diverse diode laser.

Diodă laser. Lungimea de undă a radiației emise este în intervalul $0,81 < \lambda < 0,98 \mu\text{m}$. În dependență de necesitățile utilizatorului, dispozitivul poate fi dotat suplimentar și cu un cap magnetic, care amplifică efectul tratamentului.

Comparator. Cu ajutorul semnalelor de comandă de la microcontroler, comparatorul formează semnalul sonor ce indică pornirea și stoparea funcționării laserului, formează semnalul de comandă a LED-ului, care indică vizual lucrul laserului.

Bloc de control al diodei laser. Blocul dat efectuează controlul funcționării diodei laser, prin intermediul unui fotoreceptor. În moment ce apropiem laserul de fotodiodă comparatorul își schimbă starea logică, deconectând LED-ul.

Generator de semnale sonore. Blocul dat este construit pe baza unui element piezo-electric. Frecvența sonoră se formează cu ajutorul unui generator construit pe baza unui amplificator operațional. Semnalul de pornire și de oprire a generării sunetului este format de blocul 7.

LED. În aceeași capsulă cu dioda laser se montează și un LED - indicator de culoare roșie. Atât timp cât laserul nu funcționează, LED-ul indicator luminează slab (la un curent de lucru $\sim 10 \text{ mA}$). În timpul funcționării laserului la LED vin impulsuri de 50 mA cu frecvența de 2 Hz.

În figura A.1.11 [75-78] este reprezentată schema electrică principală a dispozitivului.

Dispozitivul elaborat se alimentează de la tensiunea de rețea 220 V, 50 Hz. Includerea în funcțiune se face cu ajutorul întrerupătorului SA1 și se indică cu ajutorul ledului VD 5. În continuare cu ajutorul transformatorului Tr1 are loc coborârea tensiunii până la valoarea de 7 V. Tensiunea alternativă se redresează cu ajutorul redresorului D1-D4 și se filtrează cu ajutorul capacității C1.

Tensiunea de 5 V pentru alimentarea schemei de dirijare a diodei Laser se obține cu ajutorul stabilizatorului de tensiune ZU 1.

Tastatura dispozitivului este construită pe baza elementelor R2-R6, C2, C4, C7-C9, SB1-SB5, indicarea tastării butoanelor se face cu ajutorul ledurilor VD6-VD9.

Pentru funcționarea corectă a microcontrolerului (UC1) tensiunea de alimentare trebuie să fie 5 V. În momentul conectării la rețea, reținerea lucrului controlerului până la stabilizarea tensiunii se face printr-o linie de reținere, care se aplică la pinul 4 al microcontrolerului (UC1). Pentru aceasta utilizăm elementele R7, VD10, C10.

Puterea optică de emisie stabili a diodei Laser se obține prin stabilizarea curentului de lucru. Valoarea curentului de lucru a diodei laser este dată de microcontrolerul UC1 figura 3.15 [79, 80], prin generarea PWM cu umplerea impulsurilor modulată.

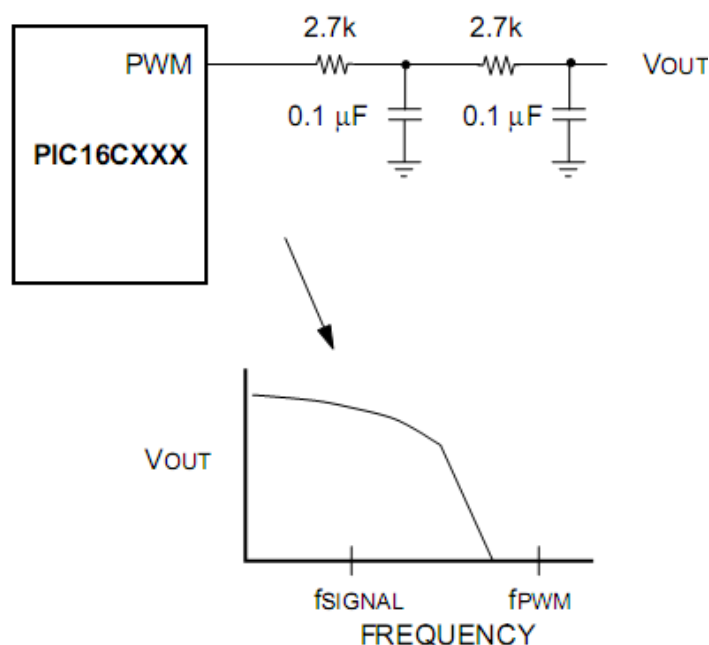


Fig. 3.15 Caracteristica de frecvență a filtrului RC dirijat de PWM.

În schema principală a dispozitivului acest lucru este realizat prin intermediul elementelor R10, R11, R13, R14, C11, C12, VT2 și celula DA1.1 a amplificatorului operațional DA1 utilizată în calitate de repetor figura 3.16.

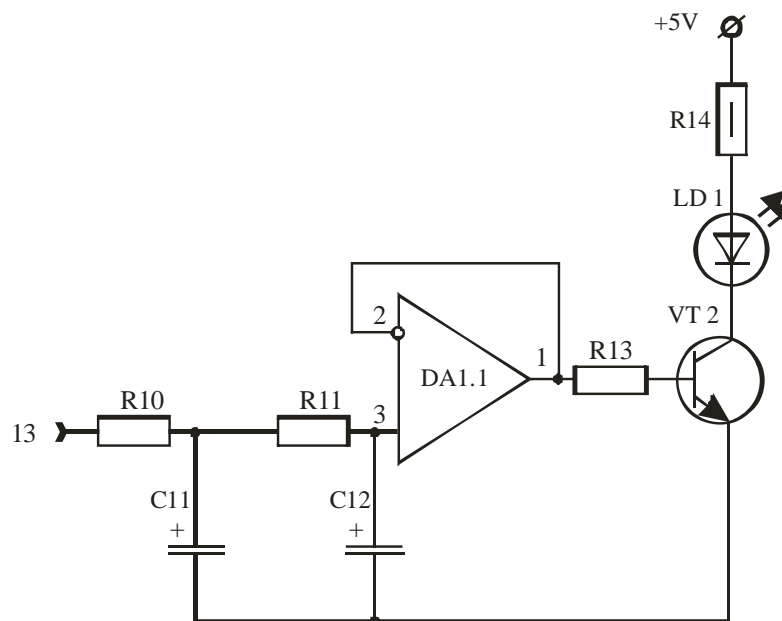


Fig. 3.16 Fragment al schemei electrice principale care realizează sursa de curent pentru dioda Laser.

Frecvența de lucru a diodei laser este gestionată de asemenea de microcontrolerul (UC1), prin intermediul elementelor R9, VT1 se modulează curentul de lucru a diodei Laser în intervalul (0 - I_{nominal}) mA.

Verificarea lucrului diodei Laser se efectuează cu ajutorul fotodiodei FD1 și rezistențelor R15-18. Vizualizarea prezenței radiației diodei Laser se face cu ajutorul diodei electroluminiscente VD12 și elementele R19, VD11, C13.

Schema prevede generarea unui semnal sonor la începutul și sfârșitul timpului de lucru cu ajutorul difuzorului SB1. Pentru aceasta se utilizează elementele R20-R25, C14, VD13, VT3. Impulsul sonor este format de controler: pinul 11 starea "1" – logic.

În corpul diodei Laser este montată și dioda electroluminiscentă VD14 de culoare roșie. În stare de așteptare, VD14 licărește cu frecvența de 2 Hz. În stare de lucru luminează în continuu. Frecvența de lucru de 2 Hz este formată de generatorul construit cu ajutorul elementelor R25-29, C15. Circuitul de comanda este format în baza elementelor R30-R32, VT4, VT5.

Parametrii de lucru selectați se afișează la ecranul simbolic HG1 ce indică 16 simboluri în două rânduri. Contrastul se reglează cu ajutorul rezistenței R12, iar luminozitatea iluminării de fond a indicatorului cu rezistența R8.

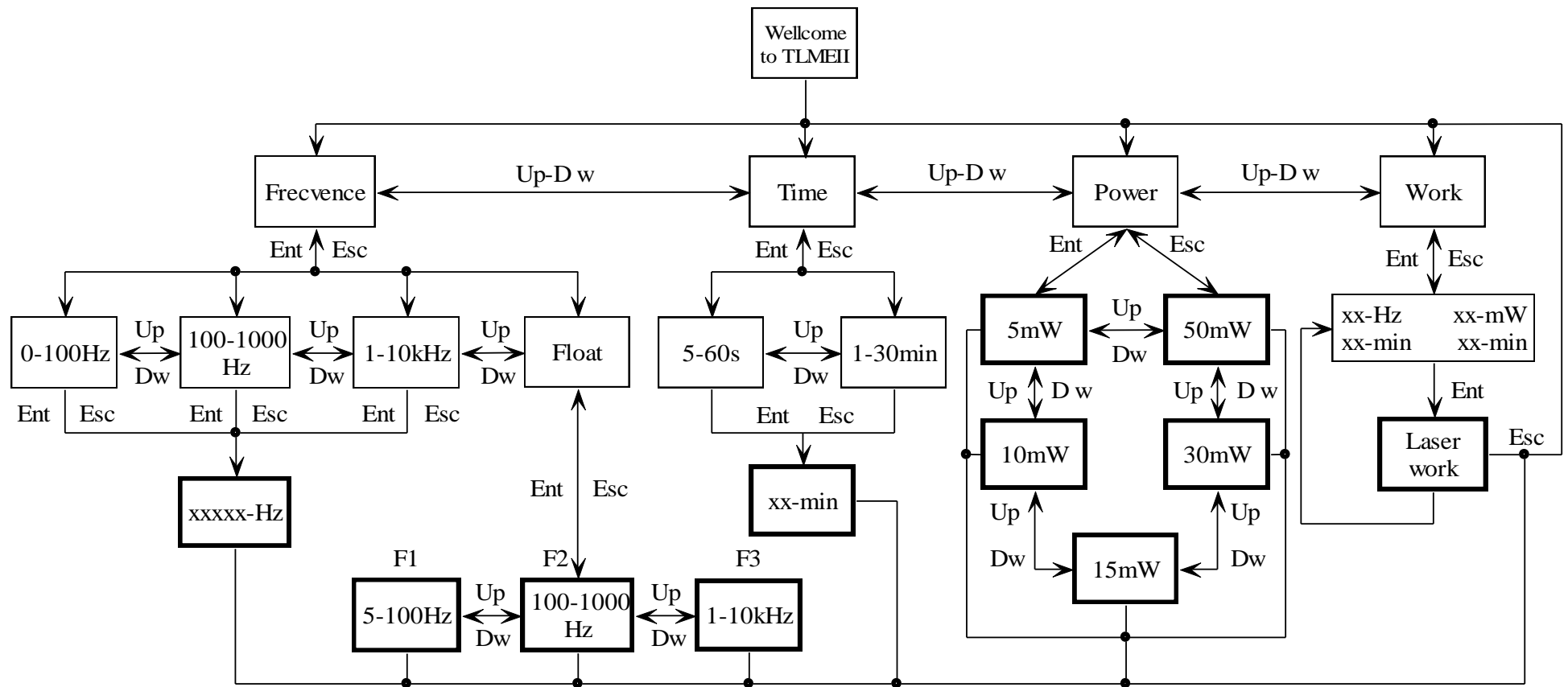


Fig. 3.17 Schema meniului de comenzi.

Meniul de comenzi este construit pe principiul alegerii cărților utilizând catalogul bibliotecar. După cum se poate observa din figura 3.17, în momentul conectării dispozitivului la rețeaua de alimentare apare mesajul de salut după care are loc trecerea la regimul de selectare a parametrilor de lucru. Cu scopul acoperirii întregului spectru de metodici de tratament cuantic, este prevăzută posibilitatea alegerii frecvenței necesare (Frecvență), timpului de expoziție (Time) și puterii de emisie a laserului (Power). După ce se aleg parametrii necesari, intrarea în regim de lucru se face din meniul (Work). Deplasarea pe orizontală de la un parametru la altul se efectuează cu ajutorul butoanelor «Up» sau «Dw», trecerea cu un nivel în sus sau în jos pe verticală se efectuează cu ajutorul butoanelor «Ent» sau «Esc».

Pentru frecvența de lucru sunt trei diapazoane: I. 0-100 Hz pasul de 5 Hz (frecvența de zero corespunde regimului continuu de lucru a laserului), II. 100-1000 Hz pasul de 100 Hz, III. 1-10 kHz pasul de 1 kHz, de asemenea poate fi selectată și frecvența plutitoare în interiorul unuia din diapazoane (deplasarea în interiorul diapazonului până la valoarea necesară se efectuează cu ajutorul butoanelor «Up» sau «Dw»). După ce a fost selectată frecvența necesară (xxxxx-Hz, sau diapazonul frecvenței flotante), are loc trecerea automată la alegerea altui regim de lucru.

Timpul de tratament este împărțit în două game de valori, prima gamă este destinată pentru acupunctură 5-60 s cu pasul de 5 s, a doua gamă 1-30min cu pasul de 1min pentru tratament (deplasarea în interiorul gamelor până la valoarea necesară se efectuează cu ajutorul butoanelor «Up» sau «Dw»).

Puterea de emisie optică a laserului poate fi selectată cu ajutorul butoanelor «Up» sau «Dw», mișcarea fiind ciclică de la o putere la alta.

În urma setării butonului Ent în meniul Work pe ecran se afișează parametrii de lucru setați: frecvența de lucru xx-Hz, puterea de emisie a laserului xx-mW, timpul de lucru selectat xx-min, iar în colțul de jos dreapta se indică enumerarea inversă a timpului rămas de funcționare până la sfârșitul procedurii de tratament în momentul funcționării laserului. La expirarea timpului fixat apăsând tasta Ent dispozitivul intră în lucru cu aceiași parametri. Dacă este necesar de schimbat unele setări se tastează tasta Esc. În acest caz dispozitivul revine în meniul de alegere a parametrilor de lucru.

Tabelul 3.1 Caracteristicile tehnice ale dispozitivului "TERALASER-D".

Regim de funcționare a diodei laser.	undă continuă
Lungimea de undă a radiației emise, μm	0,85 sau 0,98
Puterea maximă de emisie, mW	5; 10; 15; 30; 50.
Diapazoanele frecvențelor de lucru	0÷100 Hz, 100÷1000 Hz, 1÷10 kHz, frecvență plutitoare
Intervalele de timp	5÷60 s, 1÷30 min
Semnalul sonor la începutul și sfârșitul regimului de lucru	
LCD indicator, programare la tastatură	
Intensitatea câmpului magnetic, mT	30
Tensiunea de alimentare, V	220
Puterea de consum, W	1
Controlul funcționării laserului	
Masa, g	300
Gabarite, mm	115 x 90 x 37

În figura A.2.6 este prezentată imaginea exterioară a dispozitivului de tratament cuantic Teralaser D. Un aparat cu caracteristici asemănătoare [81] se produce în Federația Rusă.

Dispozitivul dat are un singur canal și nu poate fi utilizat în regim autonom, de asemenea nu este prevăzută o listă de pacienți și memorizarea parametrilor de lucru pentru fiecare pacient în parte.

3.4.2 Teralaser MF

În procesul de elaborare a acestui dispozitiv au fost stabilite următoarele cerințe tehnice:

- Utilizarea laserelor semiconductori elaborați în cadrul Laboratorului de Micro-Optoelectronica al Universității Tehnice a Moldovei;
- Două terminale optice independente;
- Utilizarea diferitor grupe de emițători optici;
- Dirijarea independentă a emițătorilor fiecărui terminal;
- Indicarea funcționării laserului;
- Vizualizarea regimurilor și parametrilor de lucru cu ajutorul unui ecran LCD:
 - puterea de emisie;
 - frecvența de lucru IR și UV;
 - durata totală și numărătoarea inversă a timpului de funcționare a emițătoarelor;
 - starea acumulateorilor;
- Memorie pentru 20 de regimuri de lucru;
- Memorizarea ultimului regim de lucru utilizat;
- Intrarea în regim de lucru și finalizarea lui însoțită de semnal sonor;
- Alimentare combinată (220V / acumulator 2A);
- Încărcare automată a acumulateorilor.

Schema bloc a dispozitivului proiectat este prezentată în figura 3.18. Trebuie elaborată conform structurii virtuale VI (fig. 2.7) și structura fizică Va (fig. 2.14a). Cu toate acestea calculele arată că spațiul de intrare/ieșire necesar pentru realizarea tuturor funcțiilor preconizate este mai mic de 80 pini și de aceea am decis utilizarea unui MCU mai performant din familia de microcontrolere PIC18 cu executarea conform structurii virtuale III (fig 2.4) și structura fizică III (fig. 2.12).

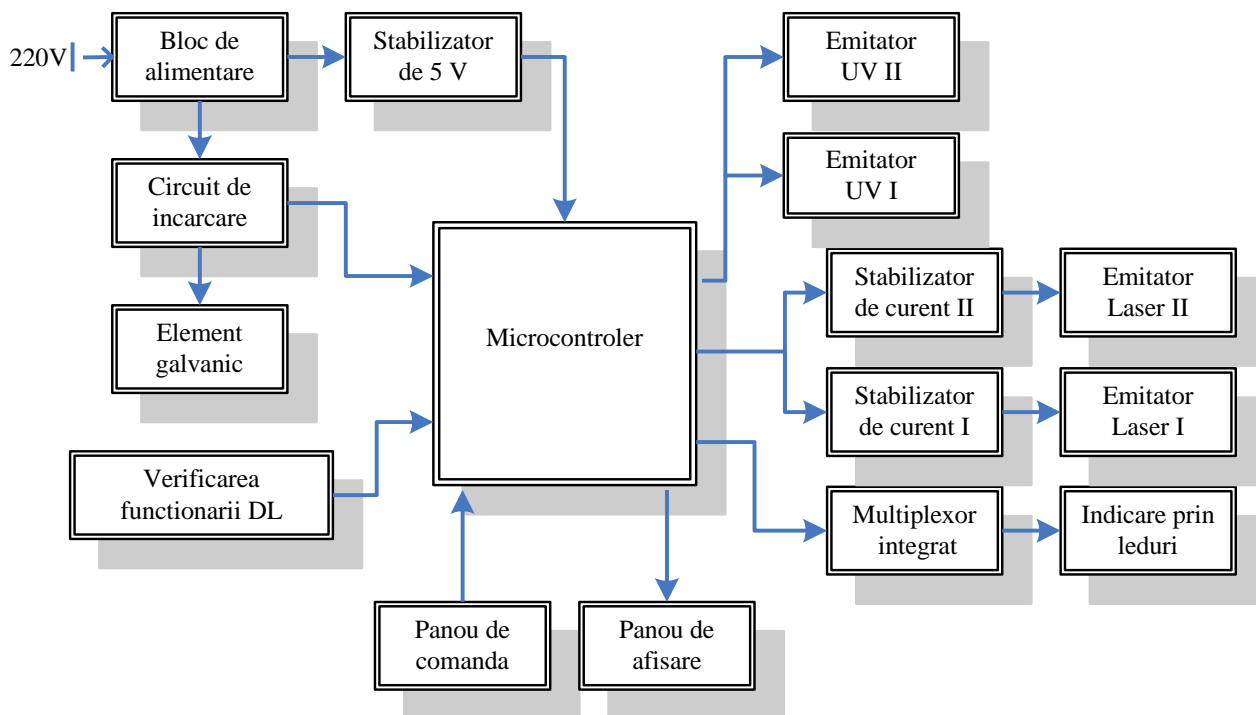


Fig. 3.18 Schema bloc a dispozitivului Teralaser MF.

Alimentarea are loc de la rețeaua 220V, 50Hz prin intermediul unui bloc de alimentare, 9V, 700mA. Pentru a crea tensiunea de bord 5V, a fost utilizat un stabilizator de 5V, de asemenea a fost incorporat un circuit de încărcare a acumuloarelor. După cum se observă din figură, drept nucleu a dispozitivului elaborat și confecționat servește microcontrolerul [82-85].

Utilizarea componentelor moderne performante precum ar fi rezistențe, capacități, tranzistori, circuite integrate în capsulă SMD, controlerul în capsulă TQFP, permite construirea unui dispozitiv compact. Cu toate acestea multitudinea componentelor și tehnologia accesibilă de trasare a cablajelor imprimate în două straturi, au determinat divizarea schemei electrice principale în două părți. În figura A. 1.13 este prezentat panoul de comandă, unde: SB1-SB5 reprezintă panoul de comandă, C1-C5 capacități conectate în paralel pentru excluderea zgomotului. VD1-VD14 prin intermediul registrelor de deplasare RG3, RG4 indică valoarea puterii optice de ieșire aleasă de utilizator pentru fiecare canal în parte. Se indică canalul activ, conectarea la rețeaua de alimentare, precum și verificarea funcționalității diodei laser, prin intermediul fotodiodei (fototranzistor) FD 15. Conexiunea cu placa de bază se efectuează cu ajutorul conectorilor P1, P2. Ecranul LCD 16x2 se conectează cu ajutorul conectorului LCD_SYM.

În figura A.1.12 e prezentată schema electrică principală de bază a dispozitivului de tratament cuantic Teralaser-MF. În schemă nu este prezentat blocul de alimentare, acesta fiind un transformator 220V/6V sau un bloc de alimentare 8,5V/700mA (au fost utilizate blocuri de

alimentare prin impuls de la încărcătoare de telefoane mobile firma Nokia). XS3 se conectează la un întrerupător cu un element indicator incorporat cu ajutorul căruia are loc conectarea/deconectarea dispozitivului. În cazul utilizării transformatorului de tensiune alternativă 6V se redresează cu ajutorul VD3 și se filtrează cu ajutorul capacității C20, în cazul blocului de alimentare prin impuls aceste elemente nu sunt necesare. În continuare tensiunea prin dioda VD2, C18 se aplică la intrarea stabilizatorului de tensiune DA1, la ieșirea căruia se obține tensiunea de bord 5V. Acumulatorul se conectează la XS2 iar puntea de rezistențe R28, R29 și capacitatea de filtrare C22 permite controlerului de a citi informația despre starea acumulatorilor. Puntea de rezistențe R25, R26 și capacitatea de filtrare C21 dă informație controlerului despre sursa de alimentare de la care lucrează dispozitivul: acumulator/rețea.

După cum se vede din figura A.1.12 schema electrică e construită în baza controlerului U1 (PIC18F452) și constă din panoul de afișare, panoul de comandă (figura A.1.13), elementele cheie a laserelor și ledurilor UV, toate acestea sunt conectate la schema principală prin conectoare. Comanda cu diodele laser se efectuează cu ajutorul pinilor 35 (PWR_LASER1) și 36 (PWR_LASER0). La acești pini se generează impulsuri dreptunghiulare cu umplere reglabilă dată de controler în dependență de puterea optică de ieșire aleasă de utilizator. R6, R7, C3, C1 reprezintă un filtru ce transformă consecutivitatea de impulsuri dreptunghiulare în tensiune continuă cu ajutorul cărei este stabilizat curentul diodei laser. U2:A este conectat conform schemei repetor de la care semnalul prin intermediul R4 se aplică la tranzistorul VT1. Frecvența de lucru a diodei laser se formează cu ajutorul tranzistorului VT3. În caz că la ieșirea 26 (FREQ_LASER0) este semnal de „1” logic, prin intermediul R10 tranzistorul VT3 se deschide și comutează la pământ baza tranzistorului VT1, care la rândul său se închide și deci întrerupe curentul diodei laser. În același mod lucrează și celălalt cap optic. Similar lucrează și ledurile UV, cu excepția: puterea optică de ieșire este fixată, se operează numai cu frecvența de lucru, prin intermediul R27, R28, R30, R31, VT6, VT7.

SB1 se utilizează pentru a introduce caracteristica diodei laser în memoria controlerului. Se efectuează individual pentru fiecare cap optic.

Cu ajutorul VT5, R15 se comutează soneria la circuitul de alimentare. A fost utilizată o sonerie standard cu generator integrat care lucrează de la tensiunea 5V.

Panoul de comandă, ecranul indicator LCD, regiștrii de deplasare utilizați pentru indicarea puterii optice de ieșire, fototranzistorul utilizat pentru verificarea lucrului capurilor optice se cuplează la schema electrică principală prin intermediul conectoarelor P1, P3, P4, conectorul P2 este utilizat pentru programarea microcontrolerului.

În figurile A.1.14, A.1.15 este prezentat cablajul imprimat a panoului din față. După cum se vede cablajul este trasat într-un singur strat (Bottom) pe stratul (Top) sunt numai șuntările. În figurile A.1.16, A.1.17 sunt prezentate cablajele imprimate a schemei electrice principale (placa mamă), trasarea este dublustrat și aceasta este determinat de multitudinea de elemente utilizate și în special de corpul TQFP a controlerului utilizat.

Meniul de comenzi. Dispozitivul elaborat are meniul de comenzi și modul de navigare prin el, similare cu meniul dispozitivului Teralaser-D (fig. 3.19), cu suplimentul respectiv funcțiilor noi.

Modul de navigare prin meniu este suficient de simplu. Cu ajutorul butoanelor „Up”, „Down” navigăm pe verticală („Up” – în sus, „Down” – în jos). Cu butoanele „Enter”, „Esc” navigăm pe orizontală.

La conectarea dispozitivului pe ecran apare meniul principal „Main Menu” și „Laser Frequence”. În acest compartiment se setează frecvența de lucru a diodei laser. Pentru a intra în sub meniu se tastează „Enter”. Aici se propune alegerea:

- Numeric – poate fi setată o valoare fixă din gama de valori (0,1 – 10000) Hz;
- Float – frecvența este o valoare variabilă dintr-un interval setat.
- Continu – dioda laser lucrează în regim continuu (frecvența 0 Hz).

Pentru setarea frecvenței numeric se tastează „Enter”. Apar 6 zerouri, cursorul se află la primul și cu ajutorul tastelor up/down se modifică valoarea acestei cifre. Când se ajunge la ultima cifră tastarea butonului „Enter” duce la ieșirea din acest compartiment. Acest mod de setare reprezintă setarea pe digiți. Pentru frecvența float se setează mai întâi frecvența minimă, apoi cea maximă.

Trecerea la „UV Frequence” – frecvența diodelor ultraviolete se face cu tastele up/down. Se propune alegerea:

- Numeric – se alege frecvența fixă cu ajutorul setării pe digiți.
- Continu – diodele ultraviolete lucrează în regim continuu.
- OFF – deconectarea diodelor ultraviolete.

„Procedure Time” permite setarea intervalului de timp corespunzător procedurii de tratament. Cu ajutorul setării pe digiți se alege timpul în minute și în secunde.

„LD Power” permite alegerea puterii diodei laser. Se efectuează cu ajutorul tastelor Up/Down: 5; 10; 15; 30; 50 mW.

Tastând „Enter” în meniul „Work” introducem dispozitivul în funcție conform parametrilor de lucru setați. Pe ecran se vor indica parametrii curenți și contorul de timp. În acest meniu pot fi introduși în memorie parametrii curenți prin alegerea „Save work parameters”. Pentru aceasta tastăm „Enter”, alegem locația cu tastele Up/Down și tastăm „Enter”. La fel pot fi setați parametrii din memorie prin alegerea „Load work parameters”. Submeniul „Battery view” permite vizualizarea stării acumulatorilor. Starea acumulatorilor poate fi indicată în unități convenționale 0-400 sau în procente 0-100%.

Avantajele dispozitivului proiectat:

- Două terminale optice independente;
- Îmbinarea radiației coerente IR și UV;
- Bandă largă de frecvențe de modulare a radiației IR și UV;
- Frecvența plutoare în fiecare gamă;
- Ajustare fină a puterii de emisie;
- Meniu comod de setare a regimurilor;
- Set de capuri optice;
- Gabarite mici;
- Putere de consum minimală;
- Alimentare autonomă în decurs de 8 ore;
- Fiabilitate sporită.

Tabelul 3.2 Caracteristicile tehnice ale dispozitivului “TERALASER-MF”.

Regim de funcționare a diodei laser.		undă continuă
Număr de terminale		2
Lungimea de undă a radiației emise, laser	μm	0,67 0,85 sau 0,98
diode luminescente cu emisia UV	μm	0,35-0,405 μm
Puterea maximă de emisie, laser	mW	5; 10; 15; 30; 50.
diode luminescente	mW	200
Diapazoanele frecvențelor de lucru fixate plutoare	Hz,	0-100 (pas0,1) 100÷10000, (pas1) selectat
Intervalele de timp	s min	1÷60, (pas1 s) 1÷30 (pas1 min)
Semnalul sonor la începutul și sfârșitul regimului de lucru		indicator LCD
Memorizarea regimurilor de lucru – 20 regimuri pentru fiecare terminal		
Intensitatea câmpului magnetic	mT	30
Tensiunea de alimentare, rețea	V	220
acumulatorare	V	6
Puterea de consum,	W	<1
Timpu de lucru cu setul de acumulatori	ore	10
Masa, cu set de acumulatori	g	780
Gabaritele dispozitivului	mm	140 x 190 x 55

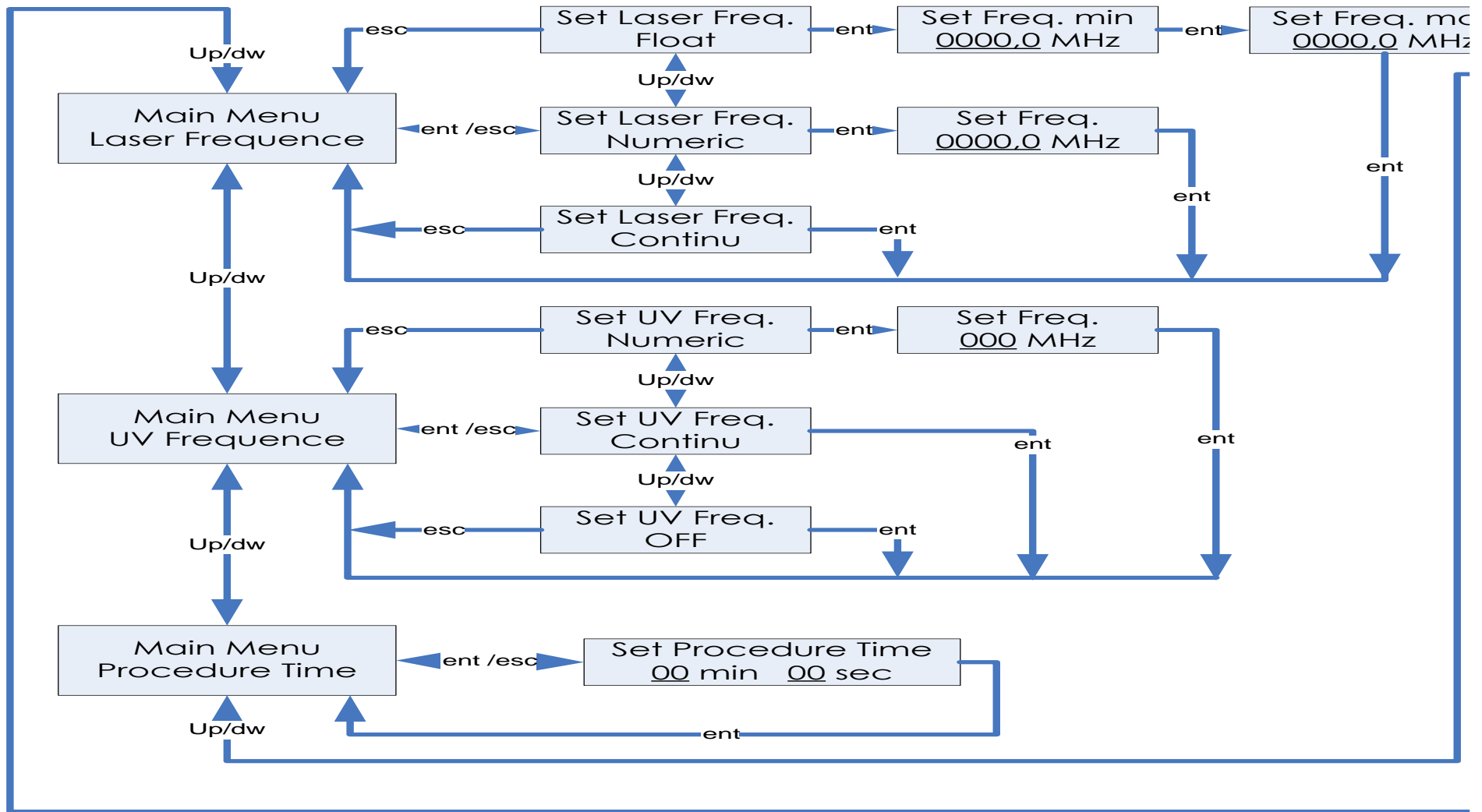


Fig. 3.19 Structura meniului de comenzi a dispozitivului Terasaler MF.

Imaginea exterioră a dispozitivului de tratament cuantic Teralaser-MF este prezentată în figura A.2.7a, imaginea emițătoarelor și capurilor optice în figura A.2.7b. figura A.2.8 reprezintă imaginea exterioră a dispozitivului în funcțiune cu emițătoarele conectate. Materialele ce vizează dispozitivul de tratament cuantic Teralaser MF au fost prezentate într-o serie de articole științifice la simpozioane și saloane de invenție [86-96]. Dispozitivele analoge [97, 98], au parametri apropiați dispozitivelor elaborate și confecționate, însă prețul de cost net superior.

Concluzii la capitolul 3

- A fost definită noțiunea de câștig/pierdere de calitate a arhitecturii EmD comparativ cu o arhitectura de alternativă. Ca rezultat a determinării F_0 poate fi stabilită arhitectura care reprezintă soluția optimală pentru aplicația proiectată.
- Pentru a obține un câștig maximal, ținând cont de simplitatea relativă a dispozitivului de înregistrare și indicare a radiației UV, a fost aleasă varianta realizării UC în bază de elemente discrete accesibile cu un senzor de radiație UV-diferențial confecționat în cadrul Laboratorului de Micro-Optoelectronică al UTM [48, 49]. Au fost utilizate tehnici simple, bine cunoscute utilizând elaborări anterioare din domeniul dispozitivelor semiconductoare.
- Pentru a realiza ionizatorul cu trei regimuri de lucru și ajustare fină a tensiunii de ieșire cu calitate maximă accentul a fost pus pe costul final redus, iar pentru a obține un câștig de calitate maximal a fost selectată structura în bază de elemente discrete. A fost elaborat un generator stabil de impulsuri de tensiune înaltă (310 V) încorporat în blocul de comandă și control și stabilită construcția cea mai reușită a blocului de multiplicare a tensiunii [55, 56]. Componentele electronice performante utilizate permit minimizarea dimensiunii dispozitivului în întregime.
- În ionizatorul cu șase regimuri de lucru și ajustare fină a tensiunii de ieșire a fost utilizată o structură EmD în bază de MCU, ceea ce a permis lărgirea posibilităților funcționale, a simplificat construcția schemotehnică și a ușurat ajustarea dispozitivului [61-64].
- Pentru realizarea ionizatorului cu nouă regimuri de lucru accentul a fost pus pe performanță și a fost realizat conform structurii EmD în bază de MCU. Microcontrollerul performant utilizat permite lărgirea posibilităților funcționale și selectarea de la panoul de comandă a regimul de lucru cu parametrii individuali fiecărui regim [65, 66].
- Seria de lasere terapeutice utilizează diode laser cu maximul de emise 810, 850, 890, 950 și 980 nm confecționate în cadrul Laboratorului de Micro-Optoelectronică al UTM și constă din două dispozitive construite conform structurii EmD în bază de MCU. Curentul diodei

laser a fost stabilizat utilizând PWM cu diferit grad de umplere, în așa mod a fost efectuată ajustarea fină corespunzătoare pragurilor de putere optică de ieșire cuprinse între 5-50 mW, memorizate în interiorul LMU al MCU. Utilizarea unui receptor de radiație infraroșie incorporat a permis verificarea sigură și rapidă a funcționării diodei laser, iar utilizarea unui difuzor a permis de a genera un semnal sonor de diferită frecvență pentru semnalizarea începutului și sfârșitului procedurii de tratament. Informația despre metodică de tratament și alegerea parametrilor corespunzători se afișează la un ecran LCD 16x2 pentru Teralaser-D și 16x4 pentru Teralaser-MF. Dispozitivul Teralaser-D are un singur emițător, poate fi dotat cu diverse capuri optice și magnetice, dar este lipsit de posibilitatea tratamentului cu radiație de diverse culori: roșu, verde, albastru, galben, ultraviolet, precum și de posibilitatea de lucru autonom [71-76]. Soluționarea problemelor nominalizate și lărgirea suplimentară a metodicilor de tratament a fost efectuată în dispozitivul Teralaser-MF. Acesta este dotat cu două emițătoare ceea ce permite tratarea a doi pacienți simultan cu metodică de tratament individuală. Utilizarea unui MCU de performanță permite stocarea în interiorul LMU propriu a unei stive de 20 pacienți cu regimuri de tratament și parametri individuali. De asemenea a fost utilizat un acumulator și încărcător încorporat, ce permite lucru în regim autonom timp de 10 ore. Masa și gabaritele reduse fac posibilă utilizarea lui în caretele de ambulanță, în teren pentru tratarea militarilor, etc [77].

4. ELABORAREA DISPOZITIVELOR ELECTRONICE PENTRU INDUSTRIE ȘI SFERA SOCIALĂ

4.1. Dispozitiv de măsurare a turațiilor motoarelor pompelor electrice ermetice

Necesitatea înregistrării numărului de turații ale motoarelor electrice în diferite domenii ale științei și tehnicii este o necesitate vitală. Acest lucru este relativ ușor de efectuat când se poate conecta nemijlocit la rotorul motorului. În cazul dat, problema consta în aceea că numărul de turații este necesar de măsurat pentru motoarele electrice ermetice, unde conectarea la rotor este imposibilă.

Principiul de funcționare a dispozitivului se bazează pe existența unui câmp electromagnetic în jurul motorului electric asincron în funcție, care conține un șir de semnale armonice (componente spectrale), frecvențele cărora sunt proporționale turațiilor rotorului. Prezența acestor componente este determinată de asimetria magnetică a rotorului și modulării curentului statorului de frecvența de rotire a rotorului.

Pentru punerea în evidență a semnalelor utile (necesare pentru calcularea frecvenței de rotație) pe corpul motorului se fixează un traductor de câmp magnetic și anume un solenoid (conectat cu dispozitivul de măsurare printr-un cablu ecranat), la ieșirea căruia apare tensiune electromotoare ce conține un șir de componente de frecvență printre care sunt prezente:

n – frecvența de rotire a rotorului;

f – frecvența rețelei de alimentare;

f_c – frecvența flotantă.

Punerea în evidență și măsurarea frecvenței de rotire a rotorului e destul de complicată din cauza plasării apropiate de frecvența rețelei de alimentare și de schimbarea valorii acestea în dependență de regimul de lucru a motorului asincron.

Frecvența de rotire a rotorului se determină conform expresiei [99]:

$$n = \frac{60}{p}(f - f_c) \text{ rpm} \quad (4.1)$$

unde:

p – numărul de perechi de poli a electromotorului.

Autorii [100, 101], la construirea tahometrelor au utilizat metodici și componente moral învechite. Din start am fixat sarcina de a elabora un dispozitiv modern care poate satisface tuturor cerințelor moderne. Blocul de măsurare și indicare trebuie să fie portabil. Trebuie să aibă un consum minim de energie și să permită funcționarea în regim autonom nu mai puțin de 4 ore. Blocul de încărcare a acumulatorului trebuie să fie încorporat. Informația precum: numărul de

turații, frecvența rețelei de alimentare, frecvența flotantă, numărul de perechi de poli - trebuie afișată la ecran, structura meniului de comenzi a dispozitivul foarte simplă.

Schema bloc a dispozitivului elaborat și confecționat este prezentată în figura 4.1.

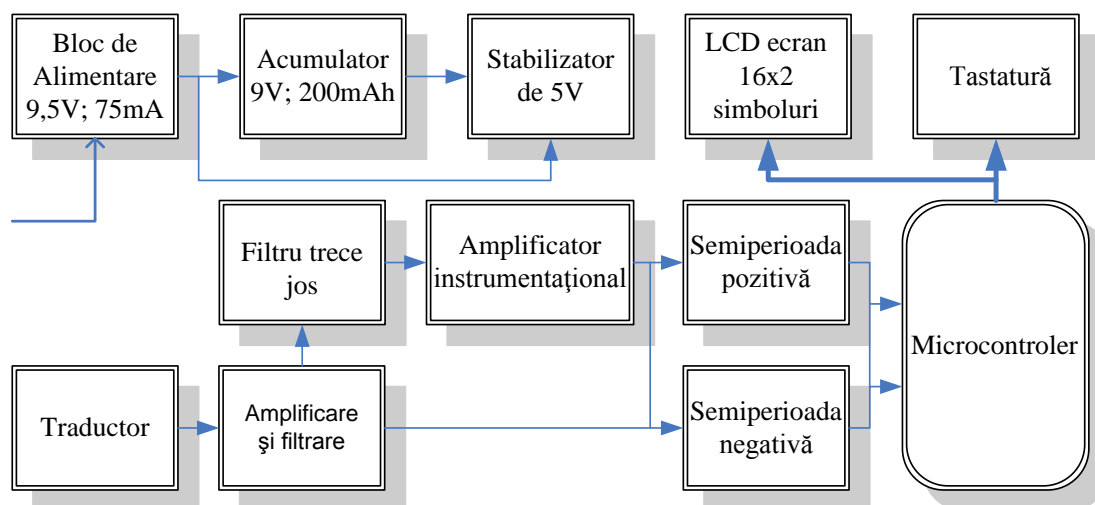


Fig. 4.1 Schema bloc a dispozitivului de măsurare a turațiilor motoarelor electrice ermetice

Este executată conform structurii virtuale III (fig. 2.4) și structura fizică III (fig. 2.12.) Conține un număr mic de blocuri componente însă perfect se încadrează în structurile de tip EmD, este realizată în variantă portabilă și are toate caracteristicile de performanță dorite.

Dispozitivul se alimentează de la rețeaua 220V, 50Hz. În calitate de bloc de alimentare a fost utilizat un bloc de alimentare prin impuls de la încărcătoare de telefoane mobile firma Nokia 9,5V/700mA, curentul de încărcare a acumulatorului fiind limitat la 75mA. Tensiunea de bord se obține printr-un stabilizator de tensiune 5V.

În calitate de traductor se utilizează un solenoid pentru care diametrul firului și numărul de spire se alege în dependență de pompele cu care se lucrează și variază în intervalul 1000-10000 spire. Semnalul de pe traductor se amplifică cu ajutorul unui bloc ce are incorporat un amplificator și un filtru de frecvență joasă. La ieșirea filtrelor sunt prezente semnale bipolare, iar la intrarea controlerului se aplică semnalul unipolar. Pentru a pune în evidență ambele semiperioade a semnalului util, a fost executat un bloc special de măsurare cu o precizie sporită a măsurărilor. De aici semnalul se aplică la controler unde are loc detectarea frecvenței de rețea și se pune în evidență frecvența flotantă.

Toate setările se introduc de la tastatură iar informația corespunzătoare: numărului de perechi de poli, valorile memorizate, valorile curente ale turațiilor și valorile medii măsurate timp de 60s, se indică cu ajutorul unui ecran simbolic LCD 16X2.

Dispozitivul se include în lucru cu un întrerupător de pe panoul din față cuplat cu cablajul imprimat prin intermediul conectorului XP4, figura A.1.18. Tensiunea 9,5V de pe blocul de alimentare se aplică la conectorul XP2. Cu ajutorul diodei D3 tensiunea de alimentare se aplică la acumulator prin intermediul conectorului XP3. Informația despre starea acumulatorilor se pune în evidență cu ajutorul divizorului de tensiune R59, R60, C24 și se aplică la intrarea analogică 18, U4. Tensiunea de bord 5V se creează cu ajutorul stabilizatorului de tensiune U6. Pentru a reduce consumul circuitului, conectarea la tensiunea de alimentare a filtrelor active are loc numai în momentul intrării dispozitivului în regim de măsurare. La momentul intrării în regim de măsurare controlerul generează un semnal de „1” – logic la ieșirea 17 U4, care la rândul său deschide tranzistorul VT1, în așa mod se închide circuitul de alimentare a amplificatoarelor operaționale U1-U3, U5.

Pentru punerea în evidență a frecvenței flotante a fost necesar de creat un filtru activ de ordinul 12 compus din șase filtre de ordinul II [102-104].

Conform caracteristicilor sale amplificatoarele operaționale sunt elemente active ideale pentru construirea filtrelor active RC. Filtrele construite pe acest principiu au următoarele priorități față de cele pasive:

- Redarea caracteristicilor de frecvență cu caracter programat;
- Independența proprietăților filtrelor, de sarcina aplicată;
- Combinarea proprietăților de filtrare și amplificare;
- Amplificatorul operațional oferă posibilitatea utilizării rezistențelor și capacităților de nominal mic chiar și în cazul frecvențelor reduse.

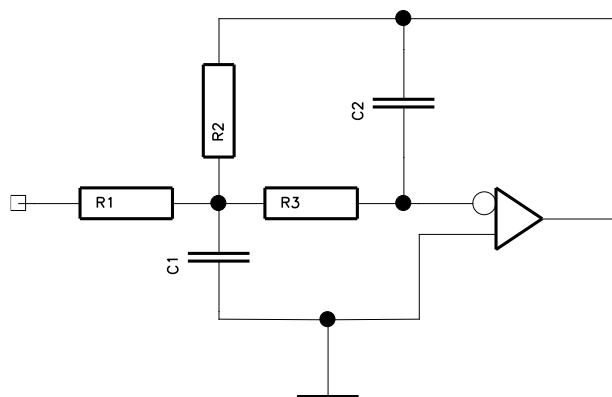


Fig. 4.2 Schema unui filtru trece jos

În figura 4.2 este prezentată schema unui FTJ (filtru trece jos) cu reacție inversă multicontur, pentru care: coeficientul de amplificare K , frecvența de taiere și raportul parametrilor pot fi determinați cu ajutorul expresiilor:

$$K = \frac{R_2}{R_1}; \quad f_0 = \sqrt{\frac{1+K}{K}} \cdot \sqrt{\frac{C_2}{C_1}} \cdot \frac{1}{2\pi C_2 R_1}; \quad (4.2)$$

$$R_3 = R_2 \frac{K}{1+K}. \quad (4.3)$$

În figura 4.3 este prezentată o altă schemă clasică a unui filtru de ordinul II, în care amplificatorul operațional se utilizează în calitate de sursă de tensiune comandată de tensiune. În continuare prezentăm expresiile ce determină caracteristica acestui tip de filtru pentru condiția $R_1=R_2=R$ și $C_1=C_2=C$:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC} \quad (4.4)$$

pentru comoditate deseori se alege $R_4=R$, în acest caz R_3 se calculează conform expresiei:

$$R_3 = (2 - \alpha)R \quad (4.5)$$

unde α - coeficientul de atenuare pentru filtrele de ordinul II și depinde de tipul filtrului ales.

Coeficientul de amplificare în banda de trecere a filtrului se calculează conform expresiei:

$$K = \frac{R_3}{R_4} + 1 \quad (4.6)$$

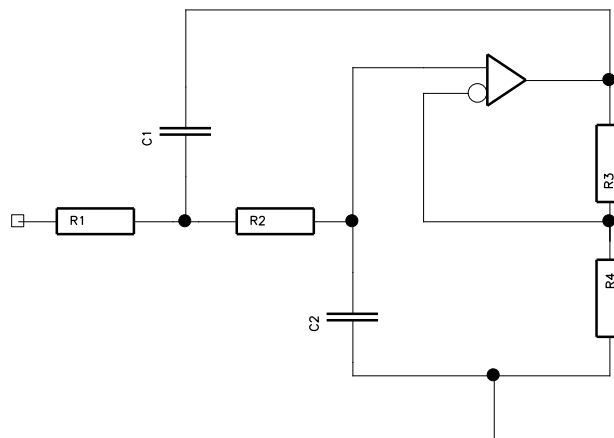


Fig. 4.3 Schema clasică a unui filtru de ordinul II.

Fiecare etaj de filtrare introduce o mică deplasare a punctului de „zero”, iar datorită faptului că valoarea semnalului util (frecvența flotantă) este foarte mică (de ordinul microvolților), separarea etajelor cu ajutorul unor capacități nu este posibilă. Din acest motiv coeficientul de amplificare a etajelor construite conform schemei prezentate în figura 4.3 se alege ≈ 1 .

Amplificarea semnalului se efectuează cu ajutorul unui amplificator instrumentațional [105, 106], construit în baza elementelor U2:B, U2:C, U2:D, R17-R23, unde $K=3700$. Cu ajutorul schemei compuse din elementele C1-C3, R13-R16, unde R16 este o rezistență variabilă cu acordare fină, a fost exclusă tensiunea de „offset” la ieșire.

Semnalul obținut la ieșirea ultimului etaj de filtrare, construit în baza elementelor - U3:C, C18, C22, R31-R34 corespunde frecvenței flotante cuprinse în intervalul 0-10Hz, se aplică la intrarea unui filtru pasiv compus din elementele R35, R36, C4, C5 după care la intrarea unui circuit ce pune în evidență ambele semiperioade a semnalului. Acest circuit este compus din elementele - U3:D, U3:E, R37-R39, C7, C8 la ieșirea căruia a fost obținut un semnal unipolar cu frecvență dublă.

Pentru informarea vizuală suplimentară a utilizatorului și acordarea mai simplă a dispozitivului, frecvența flotantă se indică cu ajutorul ledurilor VD3, VD4 prin intermediul R42, R43. În continuare semnalul se aplică la intrarea 6 a microcontrolerului U4 utilizând elementele D1, D2, R40, R41, R64, VT4.

Analogic se pune în evidență și frecvența de 50Hz. De la ieșirea primului etaj de filtrare semnalul se aplică la intrarea amplificatorului construit în baza elementelor U1:E, R44, R45, coeficientul de amplificare a căruia este $K=60$ și asigură intrarea în saturație a amplificatorului la orice nivel de semnal. În continuare se efectuează aceeași procedură de punere în evidență a ambelor semiperioade a semnalului utilizând elementele U5:D, U5:C, R46-R48, C8, C19. Frecvența rețelei se indică cu ajutorul ledurilor VD1, VD2 prin intermediul rezistențelor R49, R50. Semnalul se aplică la intrarea 3 a circuitului U4 prin intermediul R51-R53, VT3.

Microcontrolerul este necesar de inclus în funcție numai atunci când s-a stabilizat tensiunea de alimentare. Acesta are incorporat un circuit de detectare a tensiunii, în caz ca tensiunea scade sub nivelul minim controlerul se deconectează, iar la revenirea tensiunii la valoarea nominală se include în lucru. Cu ajutorul circuitului RC compus din elementele R53, R54, C22 se efectuează o reținere până când se stabilizează toate procesele tranzitorii în circuitul de alimentare.

Controlerul are incorporat un generator RC cu ajutorul căruia se formează tactele de lucru, stabilitatea frecvenței de lucru însă variază în dependență de temperatură, de aceea în cazul efectuării măsurărilor cu precizie sporită frecvența de tact se stabilizează cu ajutorul unui cuarț. Pentru aceasta au fost utilizate elementele ZQ1, C20, C21.

Pentru utilizarea economă a sursei de alimentare (acumulator) iluminarea de fon a ecranului LCD se conectează pe tot parcursul efectuării unei măsurări noi, iar în regim de așteptare pe 10s de la ultima apăsare a unui buton. Semnalul de comutare/decomutare este generat de ieșirea 2 a microcontrolerului U4 prin intermediul R56, VT2.

Conectorul J1 se utilizează pentru conectarea cablajului imprimat de bază cu cablajul de comandă. Este necesar de menționat faptul că butoanele se află pe aceeași magistrală de date cu ecranul LCD, acest procedeu permite de a utiliza mai puține fire de conexiune. Conectorul J2 servește drept conector de programare a microcontrolerului U4. R57, R58 în realitate sunt niște

rezistențe nule care se întrerup în timpul programării și se scurtcircuitează în timpul funcționării dispozitivului.

Schema electrică principală a panoului de comandă e prezentată în fig. A.1.19. Toate comenzile se introduc cu ajutorul a patru butoane S1-S4 (Esc, Ent, Up, Dw), în timpul efectuării unei măsurări noi VD1, VD2 licăresc cu frecvența rețelei, iar VD3, VD4 cu frecvența corespunzătoare frecvenței flotante. Conectarea cu placa principală are loc cu ajutorul conectorului J1.

În figura A.1.20 e prezentat cablajul imprimat a schemei electrice principale. Multitudinea de componente a determinat trasarea în două straturi, însă utilizarea componentelor moderne precum: capacități, rezistențe, transistoare, microcircuite în corp SMD au permis minimizarea suprafeței acestora.

În figura A.1.21 este prezentat cablajul imprimat dublustrat al panoului de comandă și ledurilor ce indică frecvența de rețea și flotantă.

Pentru explicarea lucrului dispozitivului poate fi utilizată figura 4.4. La pornirea dispozitivului are loc intrarea în *regim de așteptare* și se indică:

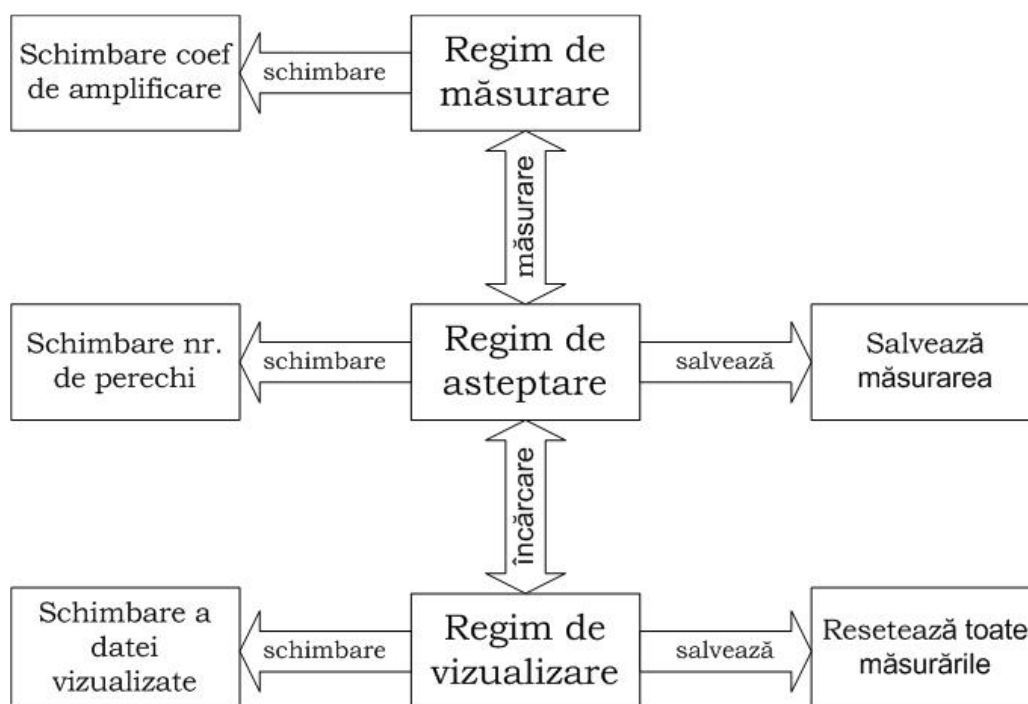


Fig. 4.4. Principiului de funcționare a dispozitivului, schemă bloc.

- ultima măsurare medie a turațiilor 2900rpm;
- tensiunea de pe acumulator: 1-5;
- numărul de înregistrări efectuate 3/20 (în cazul dat avem memorizate 3 valori din 20 posibile);
- numărul de perechi de poli.

La apăsarea butonului „Măsurare nouă” are loc intrarea dispozitivului în *regim de măsurare* care durează 66 secunde. Primele 6 secunde sunt rezervate stabilizării tuturor tensiunilor interioare generate de utilizarea circuitelor RC, în acest timp la ecran se indică:

Loading ...

F = 0 rpm

După aceasta are loc nemijlocit măsurarea timp de 60 secunde, în acest timp la ecran se indică:

50.00 2.00Hz 5

2900rpm n=1 30

unde 50.00 – frecvența de rețea, 2.00 - frecvența plutitoare, 5 – nivelul de încărcare a acumulatorului, 2900rpm – turațiile pe minut (informația se înnoiește la fiecare secundă), n=1 numărul de perechi de poli, 30 – enumerarea inversă a timpului măsurării (60 secunde). Odată cu expirarea timpului rezervat măsurării dispozitivul intra în regim de așteptare unde poate fi memorizată valoarea măsurată, pentru aceasta se apasă butonul *Save*.

Daca e necesar de verificat valorile măsurate anterior se apasă butonul *Load*, în acest caz la ecran se indică:

F[1] = 2900

Total 15

în cazul dat se vizualizează valoarea memorizată în stivă sub numărul 1, total sunt memorizate 15 valori din 20 posibile. Pentru a vizualiza valoarea cu numărul de înregistrare 2 se apasă butonul *Change*, în așa caz la ecran se v-a indica:

F[2] = 2880

Total 15

Pentru a șterge toate valorile memorizate din stivă în acest regim (regimul de citire) se apasă butonul *Save*, pe ecran v-a apărea inscripția:

F[1] = 2880

Total 0

Pentru a ieși din acest regim se apasă butonul *Load* sau *New*.

Pentru a schimba valoarea numărului de perechi de poli se apasă butonul *Change*, la fiecare apăsare valoare n se schimba: $n=1...3$.

În figura A.2.9 e prezentată imaginea exterioară a dispozitivului de măsurare a turațiilor motoarelor pompelor electrice ermetice și imaginea exterioară a traductorului de câmp magnetic.

Implementarea este confirmată cu act de implementare a elaborării tehnico-științifice figura A.3.1 și este inclus în registrul elaborărilor științifice în domeniul ingineriei electronice, materialelor multifuncționale și mecanicii fine; Agenția pentru Inovare și Transfer Tehnologic, Academia de Științe a Moldovei [107].

4.2 Bloc de comandă și control a temperaturii pentru dispozitive autonome de încălzire

La confecționarea sistemelor autonome de încălzire pe lângă costul sumar redus a sistemului în ansamblu [108], un factor important este exploatarea ieftină și consumul redus de energie (în cazul dat energiei electrice). Dacă prima problemă se rezolvă numai prin metode constructive, atunci la reducerea consumului de energie poate aduce aportul sistemului de comandă și control cu temperatura agentului termic [109]. Scopul principal urmărit în paragraful dat este elaborarea și confecționarea unui bloc de comandă și control a temperaturii pentru sisteme autonome de încălzire, cu următoarele caracteristici:

- simplu în exploatare;
- fiabilitate înaltă;
- posibilitate simplă de modernizare a caracteristicilor tehnice;
- adaptarea simplă și rapidă la diferite tipuri de instalații termice;
- preț și gabarite reduse.

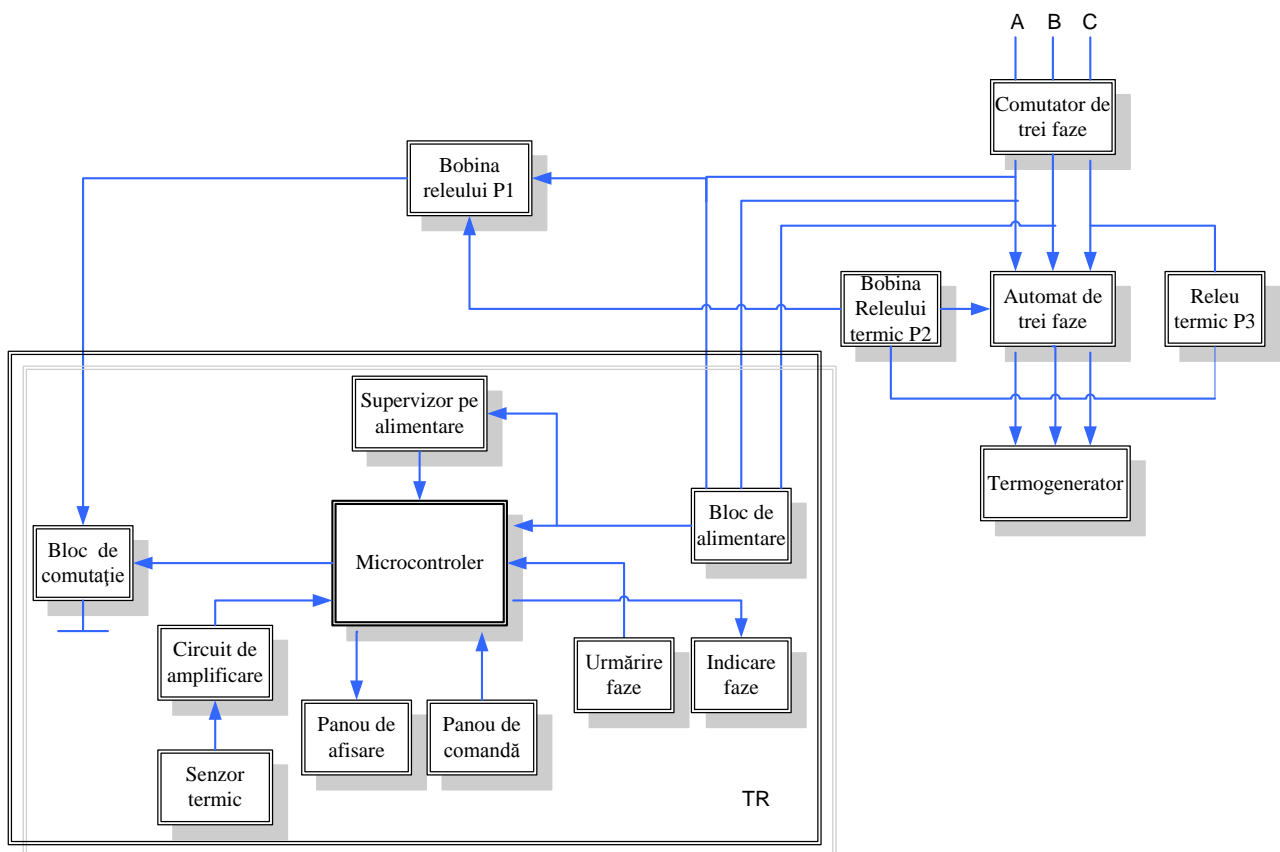


Fig. 4.5. Schema bloc a dispozitivului de dirijare și control a temperaturii pentru sisteme autonome de încălzire

Schema bloc este executată conform structurii virtuale IV (fig. 2.5) și structura fizică IVa (fig. 2.13a). Conține senzor de temperatură analogic și respectiv un convertor analog/digital, în cazul dat de performanță redusă, de cea realizat soft încorporat în MCU. Este compusă din următoarele blocuri funcționale:

Bloc de comutație. Închide circuitul de comutație.

Circuit de amplificare. Amplifică semnalul generat de senzorul termic până la nivelul necesar pentru conversia analog-digitală.

Senzor termic. Generează un semnal analogic proporțional cu valoarea temperaturii.

Panou de afișare. Cu ajutorul lui se indică regimul actual de lucru.

Microcontroler. Reprezintă nucleul dispozitivului, are funcția de: interogare a tastaturii, generare a semnalelor pentru panoul de afișare, conversie analog-digitală, start/stop a lucrului termogeneratorului, a urmări starea fazelor (valoarea amplitudinii și prezența tensiunii fazelor), a indica lipsa fazelor.

Tastatură. Permite introducerea comenzilor de control cu lucrul TR.

Supervizor pe alimentare. Urmărește valoarea amplitudei tensiunii fazelor A, B, C.

Bobina releului P1.

Urmărire fază. Bloc de urmărire a prezenței fazelor A, B, C.

Bloc de alimentare. Alimentează dispozitivul de la tensiunea 380 V. Pentru funcționarea corectă a microcontrolerului stabilizează tensiunea de lucru la valoarea de 5 V.

Indicare fază. Execută indicarea lipsei unei sau mai multor faze cu ajutorul unui led roșu.

Bobina releului P2.

Comutator de trei faze.

Automat de trei faze.

Termogenerator. În calitate de termogenerator au fost utilizate două tipuri de generatoare electromecanice produse de firma „IUSMAR” R. Moldova. Pot fi utilizate stații catodice apărute recent, sau oricare alt generator termic alimentat cu energie electrică.

Releu termic. Deconectează în regim automat automatul de trei faze în caz de consum exagerat de curent în circuitul de comutație.

Blocurile înscrise în dreptunghiul notat TR formează însuși termoregulatorul [110-113]. Termogeneratorul se alimentează de la rețeaua de curent alternativ 380V prin două automate de trei faze. Dacă comutatorul de trei faze se comutează manual, atunci automatul de trei faze se comutează electronic. Circuitul de comutație constă din: termoreleu P3, releul comandabil (bobina releului P2) ce aparține automatului de trei faze, un releu suplimentar (bobina releului P1) și blocul de comutație (aparține TR). În moment ce microcontrolerul permite activarea stării de lucru a termogeneratorului semnalul corespunzător se aplică la blocul de comutație și acesta

închide circuitul de comutație, se declanșează releul P2 și se comutează rețeaua de alimentare prin intermediul automatului de trei faze la termogenerator. Sistemul prevede și pornirea manuală cu ajutorul comutatorului SB1 ce șuntează releul P1 și închide circuitul de comutație.

În figura A.1.22 e prezentată schema electrică principială a blocului de comandă și control a temperaturii pentru sisteme autonome de încălzire.

Dispozitivul se alimentează de la rețeaua de curent alternativ 380V (conectorul J1). A fost utilizat un bloc de alimentare fără transformator: R3-R5, VD1-VD3, C1. Tensiunea de bord 5V se obține cu ajutorul stabilizatorului DA1 și capacității C2.

Microcontrolerul DD1 (PIC16F628) reprezintă nucleul dispozitivului elaborat. Circuitul RC în baza elementelor R8, C3, VD7 reprezintă o linie de reținere care permite conectarea microcontrolerului în lucru (se aplică la intrarea 4) numai după un interval de timp necesar pentru stabilizarea tensiunii de alimentare. În cazul dispozitivului elaborat, eroarea maxim admisibilă a măsurărilor poate fi ± 2 °C, ca rezultat stabilitatea generatorului intern RC este suficientă.

În cazul utilizării generatoarelor termice care se alimentează de la rețeaua de curent alternativ 380V (în cazul firmei „IUSMAR” la baza acestora stau niște pompe sau motoare asincrone), este strict necesar de urmărit prezenta fazelor: A, B, C, iar în cazul dispariției uneia din ele trebuie întreruptă funcționarea generatorului (e cunoscut, că motoarele trifazate pot funcționa de la rețea bifazată numai în cazul rezervei de putere 40%, [114, 115]). Urmărirea prezenței fazelor se face cu ajutorul circuitului R23-R25, VD4-VD6, C6, R1, R7. Tensiunea fazelor A, B, C atenuată de rezistențele R23-R25 se integrează pe capacitatea C6, o parte din această tensiune se aplică la intrarea digitală 3 a microcontrolerului DD1. Atunci când sunt prezente toate fazele la pinul 3 DD1 tensiunea este $> 2,5V$ corespunzător stării „1” – logic, în cazul absenței unea din faze sau a mai multor faze, tensiunea pe pinul 3 DD1 $< 2,5V$, corespunzător stării „0” – logic.

Pragul de sensibilitate este dat de rezistența variabilă R1. Indicarea prezenței fazelor se efectuează cu ajutorul unui led extern conectat prin intermediul R9 la ieșirea 2 DD1.

La conectorul J2 se conectează placa de comandă figura 4.17, ecranul simbolic și elementul sensibil TMP 35. Capacitățile C7-C10 se conectează în paralel cu butoanele. Prin intermediul punții de rezistențe R18, R2 se aplică tensiunea de alimentare la ecranul LCD, cu ajutorul rezistenței R2 – ajustabilă se alege contrastul necesar. Semnalul de clock și date generat de microcontroler se aplică la ecran prin intermediul punților de rezistențe R12 - R14. Informația despre temperatura agentului termic de la traductorul de temperatură se aplică la intrarea 5 DA2 a unui amplificator operațional, coeficientul de amplificare a căruia:

$$K = \frac{R_{20}}{R_{19}}. \quad (4.7)$$

În continuare semnalul trece printr-un repetor și se aplică prin intermediul elementelor R10, R11, C4, C12 la intrările 17 și 18 DD1 unde are loc conversia analog/digitală realizată soft.

Circuitul de comandă de tensiune joasă este separat galvanic de circuitul de comutare a sarcinii. Semnalele de comandă se transmit cu ajutorul unui optron U1. Conectarea sarcinii se efectuează cu ajutorul unui tranzistor cu efect de câmp VT1 prin intermediul punții de diode VD9. Tensiunea de 15 volți pentru comanda cu VT1 se obține cu ajutorul circuitului construit în baza elementelor R6, VD8, care atenuază curentul fazei aplicate și permit trecerea numai unei semiperioade, tensiunea se filtrează cu ajutorul capacității C5 și se stabilizează cu ajutorul stabilizatorului VD10. Atunci când este necesar de comutat sarcina la ieșirea 13 DD1 apare semnal „1” – logic, fototranzistorul U1:B se deschide și scurtcircuitază la pământ rezistența R21 și baza tranzistorului VT2. La grila VT1 apar 15V, tranzistorul se deschide și cuplează circuitul sarcinii. Procedura de deconectare este similară, frecvența admisibilă de lucru a unui asemenea circuit e dată de capacitatea C5.

În cazul utilizării unui alt senzor analogic sau a unei termorezistențe, caracteristica senzorului poate fi programată direct în controler sau poate fi introdusă manual. Pentru aceasta servește circuitul R17, SB1.

În figura A.1.23 este prezentată schema electrică principială a panoului de comandă. SB1-SB4 corespund tastelor Esc, Up, Dw, Ent. La apăsarea oricărei taste luminează un led corespunzător tastei apăsate R1- R4, VD1- VD4. Prin intermediul conectorului J1 se face conexiune cu placa de bază.

În figura A.1.24 e prezentat cablajul imprimat a plăcii de bază (a – *suprafața de sus*, b – *suprafața de jos*), în figura A.1.25 – cablajul imprimat a plăcii de comandă. Ambele cablaje imprimate sunt trasate dublustrat.

Alegerea senzorului termic. În calitate de senzor termic a fost utilizat elementul TMP 35 [112]. În figura 4.6 sunt prezentate caracteristicile dependenței tensiunii de ieșire de temperatură pentru trei senzori. Diapazonul temperaturilor de lucru a elementului ales este de la 10 ÷ 125 °C, conform măsurărilor efectuate de noi, dependența este liniară în intervalul de temperaturi 20 ÷ 100 °C, cea ce satisface cerințelor înaintate.

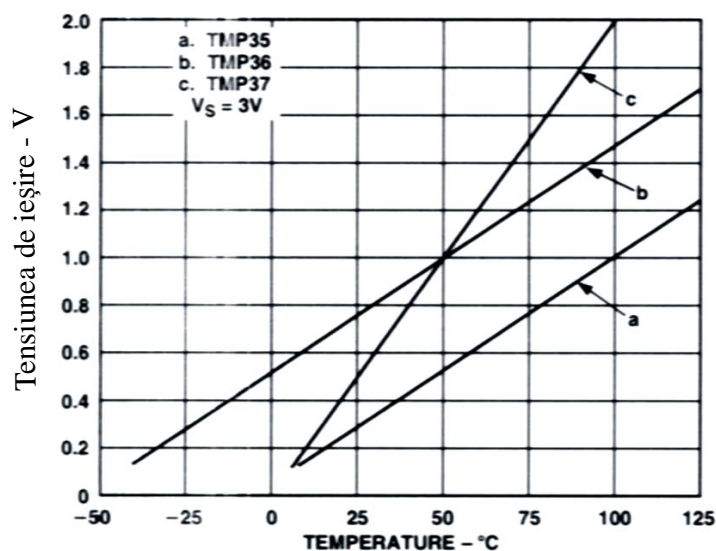


Fig. 4.6 Graficul dependenței tensiunii de ieșire de temperatură.

În figura 4.7 sunt prezentate caracteristicile timpului de răspuns în lichid pentru trei senzori. Timpul de răspuns al elementului ales este minim și constituie aproximativ 10 s, suficient pentru aplicația dată.

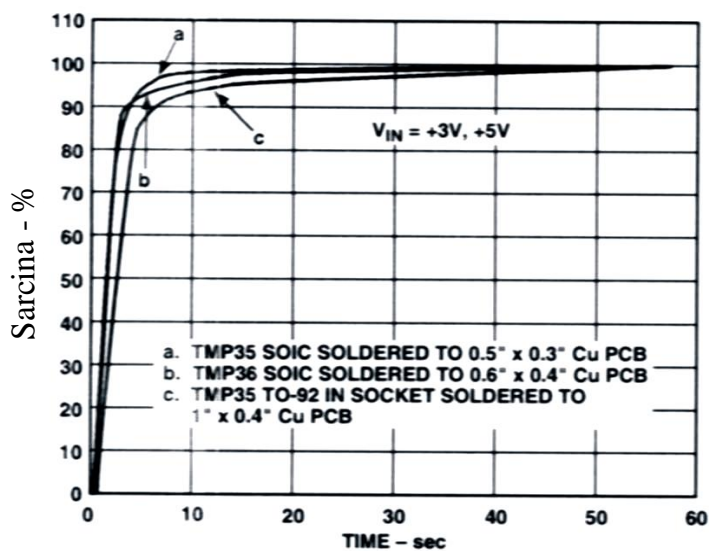


Fig. 4.7 Timpul de răspuns în lichid.

În figura A.2.10 este prezentată imaginea exterioară a blocului de comandă cu temperatura în sisteme autonome de încălzire.

Implementarea este confirmată cu act de implementare a elaborării tehnico-științifice figura A.3.2.

4.3 Panou de indicare pentru jocul de baschet

Schema bloc conține cele mai simple componente, structura virtuală II (fig. 2.3) și blocuri suplimentare precum blocul de comunicare și panou de comandă de la distanță din structura virtuală VII (fig. 2.8). Realizarea fizică poate fi efectuată conform structurii fizice II (fig. 2.11) însă conține elemente din structura fizică IVa (fig. 2.13a). Dispozitivul dat are nevoie de un spațiu larg de I/O (circa 100 intrări/ieșiri) necesar pentru afișarea informației: selectarea cifrei pentru indicare, segmentele cifrei de indicat, selectarea rîndului de faulturi și a faulturilor în parte pentru fiecare jucător. Pentru a asigura numărul necesar de I/O, pot fi propuse două variante de realizare:

1. Unitatea centrală în bază de MCU cu circuite de multiplexare, $D_{I/O}=80$;
2. Unitatea centrală în bază de MCU cu extinderea I/O prin intermediul CPLD, $D_{I/O}=100$.

În ambele variante poate fi utilizat același tip de microcontroler $MIPS_{rate1} = MIPS_{rate2}$. Pentru aplicația dată trebuie luată în calcul performanța, în acest caz parametru de ponderare trebuie ales $q=0.9$ (este necesar de indicat un masiv mare de date pe panoul principal și de efectuat comunicația între panoul principal și cele două secundare). Atunci, calitatea dispozitivului se va determina cu relația (3.7), iar câștigul/pierderea poate fi determinată din

$F_Q = \frac{Q_{EmS_1}}{Q_{EmS_2}}$, expresia desfășurată este:

$$F_Q = \frac{(MIPS_{rate1})^{1-q} \cdot (C_{MCU2} + k_1 C_{CONV} + k_2 C_{MEM} + C_{CPLD} + c \cdot (S_{min} + r \cdot \frac{D_{I/O}}{D_{I/O \text{ Baza}}} \cdot L_{baza}^2) + C_H^{FIX})^q}{(MIPS_{rate2})^{1-q} \cdot (C_{MCU1} + k_1 C_{CONV} + k_2 C_{MEM} + c \cdot (S_{min} + r \cdot \frac{D_{I/O}}{D_{I/O \text{ Baza}}} \cdot L_{baza}^2) + C_H^{FIX})^q}$$

Ca rezultat obținem $F_Q = 1,022$.

Luînd în considerație rezultatele obținute pentru elaborarea acestui dispozitiv a fost utilizată prima varianta. Aceasta a permis reducerea costurilor, respectiv sporirea calității.

În decursul ultimilor ani în regulile de joc au intervenit o serie de schimbări esențiale, din acest motiv majoritatea panourilor de afișare actuale sau învechite moral. Panoul electronic de afișare proiectat trebuie utilizat la întrecerile oficiale de baschet, sarcina tehnică înaintată proiectanților fiind:

- proiectarea unui nou dispozitiv electronic modern ce asigura toate cerințele actuale și permite introducerea modificărilor în mod rapid;
- panoul proiectat trebuie să corespundă regulilor în vigoare;
- design modern;
- fiabilitate înaltă;

- constă din panoul de bază conectat cu două panouri secundare de 24 secunde.

Urmărind sarcina tehnică au fost proiectate și confecționate trei panouri de indicare, unul de bază și două panouri secundare care indică timpul cât echipa se află în atac și sunt fixate în spatele coșurilor echipelor adversare. De asemenea au fost elaborate și confecționate trei telecomenzi cu ajutorul cărora arbitrii introduc informația necesară de indicat la panourile de afișare.

Panoului de bază. Panoul de bază (fig. A.2.11) trebuie să afișeze:

1. Scorul jocului (până la 199);
2. Numărul reprizei de la 1 la 4 și E perioade suplimentare;
3. Timpul de joc cu enumerare inversă, posibilitatea opririi în timpul pauzelor, fixarea inițială de la 1 la 60 min, la sfârșitul timpului de jos - semnal sonor, cu durata 2-3 s;
4. Timpul de joc în ultimul minut al jocului (în repriza 4 și E) se indică cu precizia de zecimi de secundă;
5. În timpul „timeout” se indică 60 și 30 s, trebuie prevăzută procedura de selectare, cu 10 s înainte și la sfârșitul „timeout” se declanșează un semnal sonor (0,5-1s);
6. Jucătorii 4-15, numărul de faulturi comise 1-5;
7. Numărul de faulturi de echipă 1 - 5;
8. Numărul de pauze luate de echipă 1 - 3;

Panoul de indicare a timpului de 24 s a echipei în atac. În momentul conectării la rețeaua de alimentare, tabloul indică 24s sau timpul fixat de utilizator (figura A.2.12). Dispozitivul constă din două panouri (550x400mm) și telecomanda 3. Panoul sincron afișează timpul în secunde de la 24 până la 0. Expirarea timpului este însoțit de un semnal sonor cu lungimea (1-0,5 s). Este prevăzută schimbarea rapidă a timpului inițial de la 0 la 60 s.

Telecomanda 1. Comandă cu timpul de joc, numărul și durata „timeout” și pauzelor în joc, figura A.2.13. Comanda are loc cu ajutorul a 7 butoane:

1. Timpul de bază, start (stop), la sfârșitul perioadei automat se generează un semnal sonor (2-3 s);
2. „Timeout” echipei A, automat pe panou se afișează timpul „timeout” de la 60 (30) s, cu 10 s înainte de expirarea acestui timp se produce un semnal sonor scurt (0,5 s). La expirarea „timeout” are loc întoarcerea automată a timpului de joc în starea la care se aflau înainte de „timeout”. Automat pe panou are loc indicarea numărului de „timeout” luate de echipă 1 - 3;
3. Similar pentru echipa B;
4. „Timeout”. O apăsare pe buton 60 s, două apăsări 30 s;
5. Instalarea rapidă (în decurs de 10 s) a minutelor de la 0 la 60 min;

6. Reset. Prima apăsare înseamnă începutul procedurii, a doua apăsare – sfârșitul resetării;
7. Sirenă. Funcționează numai când e oprit timpul de joc.

Exemplu de funcționare:

- resetarea timpului	- 6;1;6
- ... „timeout” echipa A	- 6;T:A:6
- instalarea, corectarea timpului de joc	- 5
- „timeout” echipa A pe 30 s	- A;T;T
- „timeout” echipa B pe 60 s	- B;T

Telecomanda 2. permite de a introduce scorul jocului, numărul de faulturi personale și de echipă, numărul de perioade, figura A.2.14. Comanda se efectuează cu ajutorul a 17 butoane.

1. Scorul;
2. Echipa A;
3. Echipa B;
4. ... 15. Doisprezece jucători de la 4 la 15. La setarea numărului jucătorului care a primit un fault personal, semnalul luminos licărește de trei ori apoi luminează permanent, la acordarea faultului cu numărul cinci (roșu) se produce un semnal sonor cu durata 0,5 s, automat se setează un fault de echipă. La acordarea faultului cu numărul cinci a echipei se produce un semnal sonor 0,5 s;
16. Repriza. La pornirea reprizelor № 2,3 și 4 automat se setează timpul fixat primei reprize, se resetează numărul de faulturi de echipă acumulate în repriza precedentă. În reprizele suplimentare numărul faulturilor de echipă se adaugă la cele acumulate în repriza 4. Setarea reprizei numărul trei și suplimentare automat resetează numărul de „timeout” luate de echipă anterior;
17. Reset.

Exemplu:

Scorul 1 (o apăsare pe buton – un punct) S; A(B) 1;2(3)

Fault N 4 A 2; 4 automat setează un fault de echipă echipei A

Repriza 16 (o apăsare pe buton – 1, două – 2, ș.a.)

Reset:

Scor A-2 0;A;S;S;0

Fault A4 0;A;4;0

Repriza 0;P;0

Telecomanda 3. Telecomanda dă posibilitatea de a declanșa indicarea a 24 s (echipa în atac) sau de a stopa indicarea, figura A.2.15. Comanda se efectuează cu ajutorul a 3 butoane:

1. Start (Stop). După apăsarea butonului „start/stop” pe panou se indică cifrele 24 s și se începe enumerarea inversă în mod automat, până la 0. Semnalul „stop” oprește enumerarea timpului, dar nu resetează indicarea. Semnalul „start” setat după semnalul „stop” reia enumerarea până la 0 s din momentul în care a fost oprită;
2. Resetează timpul indicat;
3. Setează (30 s) de la 0-60 s.

În figura 4.8 este prezentată schema bloc a panoului de afișare, comandă și conexiune a telecomenzilor [116, 118].

Dispozitivul se alimentează de la rețeaua 220V, 50Hz. Panourile de indicare se alimentează de la 12V iar controlerul și schema de comandă de la 5V – stabilizat.

După cum se vede telecomenzile sunt conectate între ele, iar magistrala de comunicare e incorporată în interiorul telecomenzii Nr. 2. Pe placa principală e confecționat un alt bloc de comunicare similar celui din telecomenzi, care la rândul său comunică cu controlerul.

Afișarea la panoul de bază și cel de 24 s se efectuează în regim dinamic. Pentru sporirea vitezei de afișare panoul a fost divizat simetric în două, corespunzătoare echipei A și B. Respectiv decodificatoarele Enable selectează cifra, rândul de faulturi personale a jucătorilor, faulturi de echipă, timeout echipă, iar registrele de deplasare transmit informația corespunzătoare segmentelor A, B, C, D, E, F, G – indicatoare cu șapte segmente, unde A, B, C, D, E – faulturile jucătorilor.

În figura A.1.26 este prezentată partea întâia a schemei electrice principiale, care efectuează selectarea cifrei corespunzătoare de afișat sau a rândului de faulturi personale a jucătorilor. Pentru sarcina dată a fost selectat controlerul PIC18F452. Controlerul efectuează indicarea și totodată stabilește și urmărește timpul jocului, întreruperile, timpul echipei în atac. Din această cauză au fost utilizate două tacte de cias:

- 1 - 32768Hz (ZQ1), C2, C3 – ceas;
- 2 - 9.216MHz (ZQ2), C5, C6 – frecvență de tact.

Comunicarea între panourile de afișare și telecomenzi are loc prin intermediul DD2 (MAX 485) și circuitul de conectare a lui R5 - R7 prin conectorul J1.

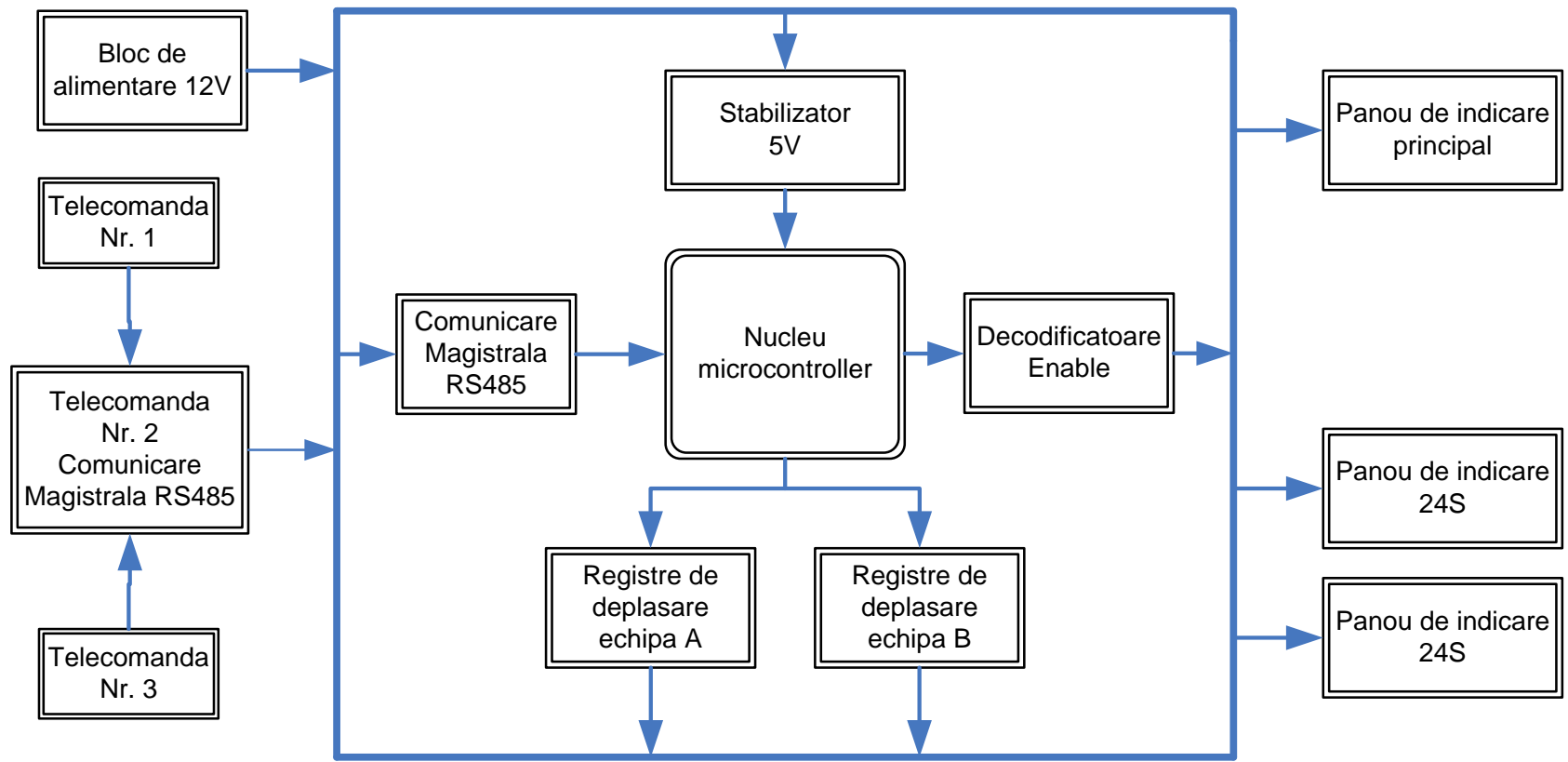


Fig. 4.8 Schema bloc a panoului de indicare.

Decodificatoarele DC1, DC2 permit alegerea rândului ce trebuie indicat. Comutarea indicatoarelor la pământ are loc prin intermediul a niște transistoare de putere VT1 – VT22 și R10 – R31.

Pinii de ieșire a microcontrolerului sunt de maxim 20mA, din această cauză a fost utilizat circuitul DA1 repetor.

Semnalele CLR, HIR, SCK (gestionarea lucrului registrelor de deplasare, date, frecvența de tact), SDO, VCC, GND, 12V se aplică la magistrala de date.

Soneria se alimentează de la tensiunea 12V prin conectorul XR1, VT23, R32.

În figura A.1.27 este prezentată partea a doua a schemei electrice principale pentru comanda cu segmentele indicatoarelor α – numerice. La baza acestei scheme stau regiștrii de deplasare DD2 – DD5 (74F299). Pentru a proteja ieșirile regiștrilor de deplasare au fost utilizați inversorii DD6 – DD9 (74HC05 - cu colector deschis) conectați cu ieșirile registrelor prin intermediul rezistențelor R33- R56.

Panoul de afișare după cum am menționat mai sus e împărțit în două zone de afișare: Echipa A și Echipa B. Conectoarele J2, J3 răspund de indicarea segmentelor A, B, C, D, E, F, G (J1), iar A, B, C, D, E (J2) – faulturile personale a jucătorilor. Conectoarele J4, J5 răspund de indicarea segmentelor A, B, C, D, E, F, G (J3), iar A, B, C, D, E (J4) – faulturile personale a jucătorilor. Comutarea segmentelor la tensiunea de alimentare are loc cu ajutorul tranzistorelor bipolare VT24 – VT47, prin intermediul rezistențelor R57 – R113.

Schema electrică lucrează în modul următor: informația ce vizează segmentele care trebuie să lumineze se transferă în registrele de deplasare DD2 – DD5, apoi prin intermediul inversoarelor DD6 – DD9 și tranzistorelor VT24 – VT47, la circuitul de alimentare se comutează segmentele indicatoarelor. Selectarea cifrei sau liniei faulturilor corespunzătoare se efectuează cu ajutorul tranzistorelor VT1- VT22 ce comutează circuitul la pământ.

În figura A.1.28 e prezentată schema electrică principală a telecomenzii Nr.1. Constă din butoanele S0:1 – S0:4, S1:1 – S1:3. Ledul VD1 luminează la apăsarea oricărui buton. Conectorul J1 face conexiunea cu telecomanda de bază Nr.2.

În figura A.1.30 e prezentată schema electrică principală a telecomenzii Nr.2, care constă din butoanele S3:1 – S3:4, S4:1 – S4:4, S5:1 – S5:4, S6:1 – S6:4, S7:1 – S7:4. Diodele VD3, VD4 se utilizează deoarece punctul comun a butoanelor S6:1 – S6:4, S7:1 – S7:4 se conectează la aceiași pini a controlerului cu ledurile indicatoare VD1 (indică transferul de date la telecomanda principală la placa principală), VD3 (indică apăsarea unei taste a telecomenzii Nr.2). KEYB_IN1, KEYB_IN2 se conectează în paralel, ceea ce permite de a comuta telecomenzile Nr.1 și Nr.3 la oricare intrare.

Identificarea tastei setate, punerea în evidență a funcției necesare de îndeplinit în urma unei combinații de taste, comunicarea cu placa principală este îndeplinită de microcontrolerul PIC18F252. Alimentarea circuitului dat are loc prin magistrala de comunicare. A fost utilizată o magistrală din patru fire, două pentru – comunicare și două pentru – alimentare.

Comunicarea între placa principală și telecomanda Nr.2 se efectuează cu ajutorul unui circuit specializat MAX485 prin intermediul conectorului J2.

În figura A.1.29 e prezentată schema electrică principială a telecomenzii Nr. 3. Constă din butoanele S2:2 – S2:3, cu o construcție analogică celor prezentate anterior.

Cîteva modele de panouri de afișare inclusiv universale elaborate ulterior sunt prezentate în [119-121].

Implementarea este confirmată cu act de implementare a elaborării tehnico-științifice figura A.3.3.

4.4 Sistem micro-optoelectronic pentru iluminarea fațadelor

Necesitatea utilizării acestei tehnologii este evidentă. Crearea unor sisteme de iluminare a fațadelor pentru: casele de locuit, oficii, terase, centre de distracție, parcuri, panouri de publicitate, scări, ascensoare, permite de a pune în evidență toate prioritățile utilizării diodelor electroluminiscente supraluminiscente.

În prezent se produc o serie de diode electroluminiscente supraluminiscente 1-40 cd cu eficiența de până la 40% [122-124]. În ultimul timp încep să apară pe piață și astfel de diode cu mai multe structuri (>32 cd) [125, 126], timpul de viață >10000 ore. Cu toate acestea nivelul de utilizare a acestor dispozitive este redus. Rezultă ideea construirii unui sistem de iluminare econom care permite înlocuirea emițătoarelor tradiționale (lămpile incandescente cu eficiența de până la 3% în regiunea vizibilă a spectrului), cu diode electroluminiscente supraluminiscente.

Fluxul radiant (Φ_E), este definit ca valoarea totală de energie electromagnetică emisă de o sursă de lumină pe unitate de timp, unitatea de măsurare a fluxului radiant - W (wat). În general, fluxul radiant este specificat pentru toate unghiurile emise într-o sferă imaginară de 360 ° în jurul sursei de lumină. De asemenea poate fi definită mărimea de flux radiant emis într-un anumit interval unghiular. În cazul în care fluxul radiant variază cu lungimea de undă $\Phi_E(\lambda)$ (unitatea de măsură W/nm), atunci poate fi exprimat ca:

$$\Phi_E = \int \Phi_E(\lambda) d\lambda \quad (4.8)$$

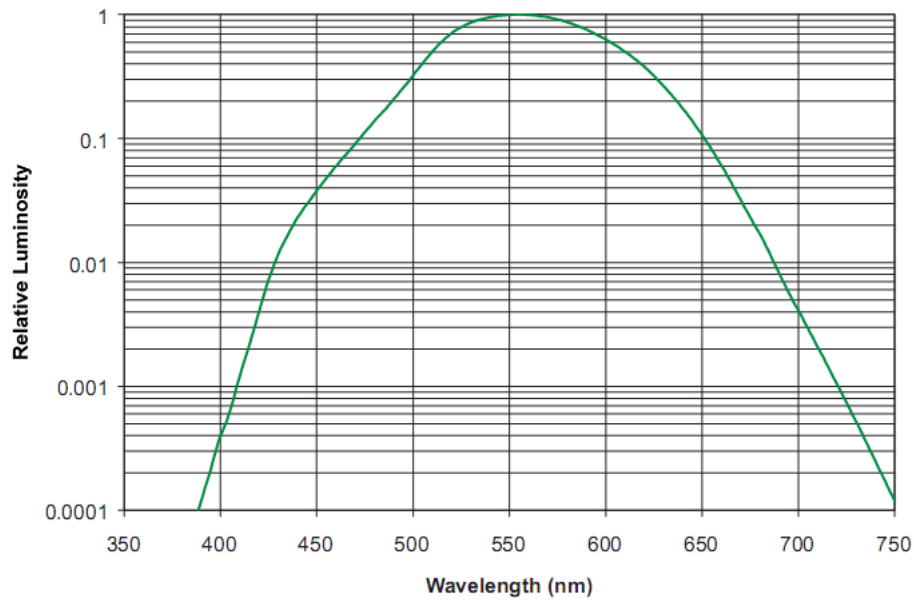


Fig. 4.9 Funcția de luminozitate 1931 CIE [121].

Flux luminos este definit ca valoarea totală a energiei electromagnetice pe unitate de timp emisă de o sursă de lumină. Drept unitate de flux luminos servește lumenul, lm. Ochiul uman posedă sensibilitate maximă pentru radiația cu o lungime de undă de 555 nm. La această lungime de undă, 1 watt de flux radiant este egal cu 683 lumeni de flux luminos. Similar cu fluxul radiant, fluxul luminos este, în general, specificat pentru toate unghiurile emise într-o sferă imaginară de 360° trasată în jurul sursei de lumină. Cu toate acestea, se definește fluxul luminos emis într-un anumit interval unghiular. După cum este prezentat în figura 4.9, funcția de ponderare a ochiului uman definită drept CIE (Commission Internationale de L'Eclairage) în 1931, este cunoscută sub numele de funcție de luminozitate 1931 CIE, $L(\lambda)$.

Fluxul luminos Φ_V , este:

$$\Phi_V = 683 \int_{\lambda=360}^{\lambda=830} L(\lambda) \Phi_E(\lambda) d\lambda \quad (4.9)$$

Dacă flux radiant total, Φ_E , emis de sursă de lumină este cunoscut și spectrul normalizat, $S(\lambda)$, este cunoscut, apoi fluxul luminos, Φ_V , este egală cu:

$$\Phi_V = 683 \Phi_E \frac{\int_{\lambda=360}^{\lambda=830} L(\lambda) S(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda=360}^{\lambda=830} S(\lambda) d\lambda} \quad (4.10)$$

În figura 4.10 este prezentat spectrul normalizat a unui LED alb suprapus pe funcția de luminozitate 1931 CIE și produsul celor două funcții. Trebuie de menționat că spectrul posedă o energie radiantă considerabilă la lungimea de undă 450 nm și mai mare de 650 nm. Cu toate

acestea, deoarece funcția de luminozitate este foarte mică la aceste lungimi de undă, produsul a două funcții este relativ mic în aceste zone. Pentru acest exemplu, aria curbei $S(\lambda)L(\lambda)$ este de aproximativ 47% a ariei curbei $S(\lambda)$, astfel încât, 1 W flux radiant generează aproximativ 320 lm de Flux luminos.

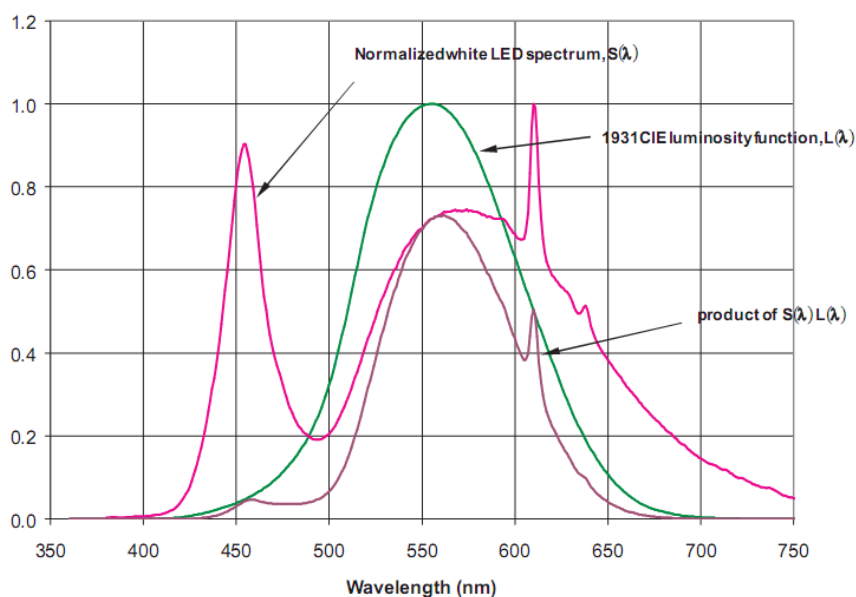


Fig. 4.10 Spectrul ledului de culoare albă [124].

Temperatura de culoare corelată (CCT - correlated color temperature). Multiple tehnologii de confecționare a surselor luminoase generează lumina "albă". O clasa comună de surse de lumina sunt numite corpuri negre iradiatoare Planck-iene. Cu toate acestea sunt mai multe tehnologii de obținere a culorii albe spectrul cărora diferă de sursele Planck, spre exemplu: surse de lumina fluorescente, cu descărcare în gaz și LED-uri "albe". Aceste surse de lumina sunt definite după culoarea lor de lumina din punct de vedere al temperaturii de culoare corelată. Conceptul de CCT este de a extrapola culoarea sursei de lumină culorii de iradiere a unui corp negru Planckian de o anumită culoare de temperatură ($^{\circ}$ K), astfel ca aceasta să aibă aceeași nuanță de "alb", sesizată de ochiul uman, figura 4.11.

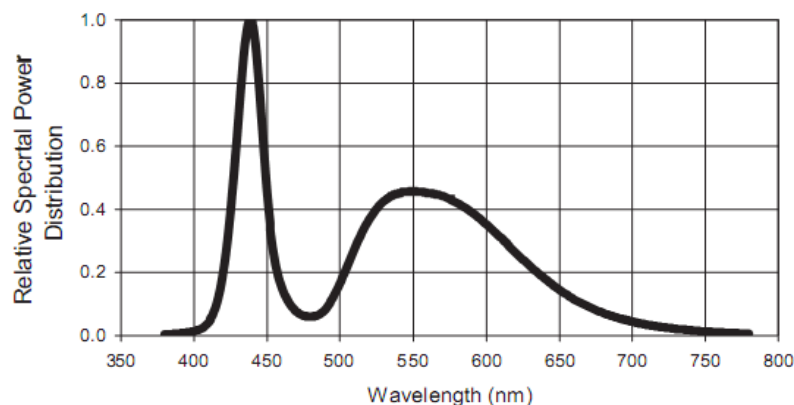


Fig. 4.11 Spectru tipic CCT pentru culoarea albă [123].

În tabelul de mai jos prezentăm un calcul succint al consumului energiei electrice în cazul diferitor tipuri de emițătoare de lumină în decurs de o lună (pentru 10 ore din 24).

Tabelul 4.1 Calculul comparativ a consumului de energie electrică lunar

Tipul emițătorului	Consumul W/oră	Nr. Emițători	Consumul lunar kW	Timpul de viață Luni
Lampă incandescentă	60	10	180	~12
Halogen	20	10	60	~1-6
LED	0,47	10	2,4	~36-72

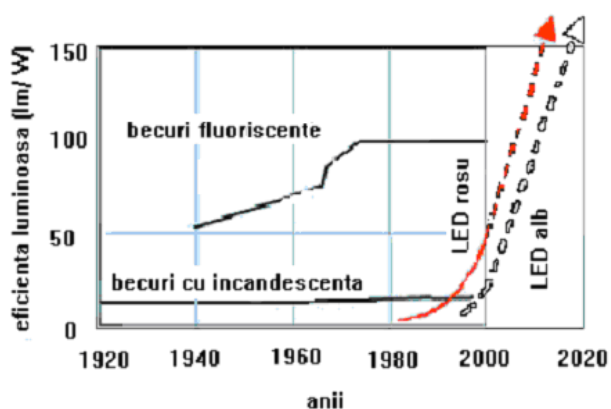


Fig. 4.12 Graficul evoluției diferitor tipuri de emițători în timp și eficiență.

Utilizarea în calitate de emițătoare de lumină a diodelor electroluminiscente supraluminiscente permite de a crea sisteme de iluminare economice. În rezultatul analizei efectuate economia în cazul utilizării tehnologiei LED, este indiscutabilă, fapt care permite confecționarea sistemelor ce pot funcționa în regim autonom.

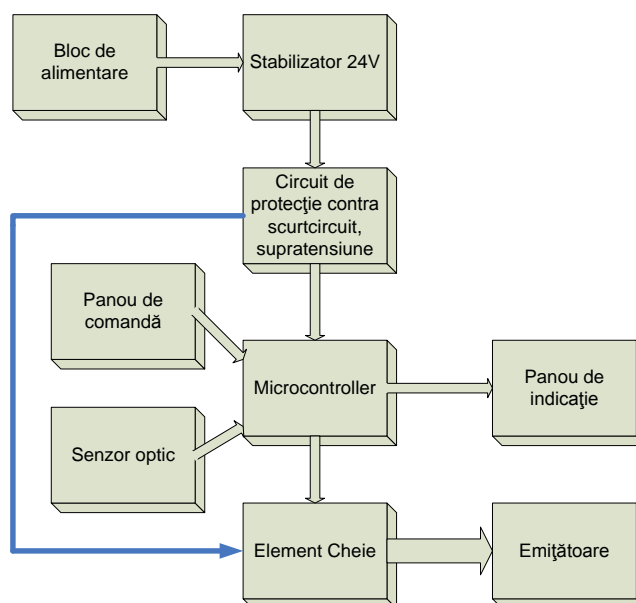


Fig. 4.13 Schema bloc a sistemului de iluminare supraeconom a fațadei clădirilor.

În figura 4.13 este prezentată schema bloc a sistemului de iluminare econom în baza diodelor luminescente supraluminescente [127-129]. Este realizat conform structurii virtuale III (fig. 2.4) și utilizată structura fizică III (fig. 2.12).

Sistemul este alimentat de la rețeaua 220V, 50Hz, figura 4.15. Blocul de alimentare coboară tensiunea până la 28V, apoi se redresează și filtrează. În continuare are loc stabilizarea tensiunii, emițătoarele se alimentează de la tensiunea de 24V. Comanda are loc cu ajutorul unui microcontroler, parametrii de lucru ai căruia se setează cu ajutorul panoului de comandă iar regimurile de lucru se indică pe panoul de afișare. În dependență de necesitatea conectare/deconectare a iluminării dată de senzorul optic, microcontrolerul comandă cu elementul cheie, care la rândul sau comutează alimentarea emițătoarele.

În figura A.1.31 este prezentată schema electrică principală a dispozitivului de alimentare a emițătoarelor construite în baza ledurilor supraluminescente.

La intrarea punții redresoare VD1, prin intermediul conectorului PWR2 se conectează transformatorul de tensiune 220V/20V de curent alternativ 50Hz sau un bloc de alimentare prin impuls la aceeași tensiune de ieșire. Tensiunea redresată se filtrează cu ajutorul capacității C13 și se aplică la stabilizatorul de tensiune DA1. Circuitul de ajustare format din R1, C1, R20 unde R20 – potențiomtru cu reglare fină, permite fixarea tensiunii la ieșirea stabilizatorului egală cu 24V, pulsațiile sunt cuprinse în $\pm 0.3V$.

Cu ajutorul elementelor R21, VD5, VT2, C12 a fost creat un prestabilizator 15V – tensiunea optimală pentru comanda cu tranzistorul cu efect de câmp. Tensiunea de bord 5V a fost obținută cu ajutorul stabilizatorului de tensiune DA3, C5. Alimentat prin R3 ledul de pe panoul din față indică conectarea la rețea a dispozitivului.

Dispozitivul proiectat trebuie să conecteze/deconecteze emițătoarele LED în dependență de intensitatea iluminării naturale. Sensibilitatea fotoelementului poate fi reglată cu ajutorul unui potențiomtru de către utilizator sau fixată în timpul confecționării dispozitivului. Verificarea tensiunii de alimentare a emițătoarelor este obligatorie. Depășirea tensiunii poate provoca ieșirea din funcție a emițătoarelor LED iar scurtcircuitul la ieșire poate provoca ieșirea din funcție a blocului de alimentare.

Dispozitivul este construit în baza microcontrolerului AT90S2313 (DD1). Circuitul RC: R8, C11, VD3 - reprezintă o linie de reținere care permite conectarea controlerului în funcție numai după un interval de timp necesar pentru stabilizarea tensiunii de alimentare. Cu ajutorul ZQ1, C6, C7 a fost cuarțară frecvența de tact a controlerului.

Puntea Wilson formată din elementele R13, R14, R19, C9, C10 și fototraductorul conectat între pinul 13, DD1 și șina de alimentare 5V (este plasat pe panoul din față a dispozitivului sau într-o cutie specială în exteriorul dispozitivului) reprezintă circuitul cu ajutorul căruia se determină intensitatea iluminării naturale. Rezistența R13 poate fi un potențiomtru cu ajutorul căruia utilizatorul poate singur fixa pragul de sensibilitate.

Emițătoarele LED se conectează la sursa de alimentare prin intermediul tranzistorului cu efect de câmp VT1, pentru comanda corectă a căruia la grilă trebuie aplicată o tensiune 15V. Deoarece semnalul de comandă de la controler este de 5V a fost utilizat un adaptor 5/15V construit în baza elementelor R9 – R12, VT3, VT4, VD4. Sarcina a fost alimentată prin conectorul de putere PWR1 de la tensiunea stabilizată 24V.

Determinarea stării de supratensiune (echivalentă cu ieșirea din funcție a stabilizatorului 24V) și a stării de scurtcircuit (ieșirea din funcție a unui sau mai multor emițătoare, scurtcircuit în cablu) se efectuează cu ajutorul unui circuit de comparare construit în baza unui amplificator operațional DA2. Elementele de conexiune a acestuia sunt: R4 - R7, C3, C4, VD2. Semnalul de la ieșirea amplificatorului se aplică la intrările 14, 15 DD1. Schema dată funcționează în modul următor: R4, VD2, C3 asigură tensiunea de referință stabilizată cu ajutorul stabilizatorului VD2 – 3V9, tensiunea de referință se aplică la intrările: 5 – neinversată a DA2:B și 2 – inversă a DA2:A. Intrările: 6 – inversă și 3 – neinversată se aplică la puntea formată de R5, R6, R7 unde R6 determină diferența de tensiune fixată între intrările 6, 3 DA2 iar cu R7 reglabil fixăm pragul de reacție la tensiunea supra limita.

Rezistențele R15 – R18 alimentează ledurile indicatoare corespunzătoare (fixate pe panoul din față) și indică: iluminare redusă, funcționarea emițătoarelor LED, supratensiune, scurtcircuit.

Cablajul imprimat a schemei electrice principale a dispozitivului este prezentat în fig. A.1.32. În figurile A.1.33 și A.1.34 sunt prezentate cablajele imprimate a două tipuri de emițătoare: 70 și 21 leduri supraluminiscente corespunzător.

În figurile A.2.16 și A.2.17 - două modifiții a corpurilor de iluminat pentru emițătoarele elaborate. În figurile A.2.18 și A.2.19 sunt prezentate imaginile exterioare ale blocului de alimentare sub diferite vederi. În figurile A.2.20 și A.2.21 sunt prezentate pozele clădirilor pentru iluminarea fațadei cărora a fost utilizată tehnologia propusă.

Cîteva modele de emițătoare pentru iluminare interior/exterior elaborate ulterior sunt prezentate în [130-132].

În cadrul deficitului energetic global, economia energiei electrice devine cea mai stringentă problemă cu care se confrunta majoritatea țărilor, cât industrial dezvoltate atît și țările în curs de dezvoltare. Impactul socio-economic în cazul implementării acestui proiect poate fi colosal. Publicațiile la temă [133-141], precum și actele de implementare a elaborărilor tehnico-științifice figurile A.3.4-A.3.7 dovedesc acest lucru .

4.5. Concluzii la capitolul 4

- A fost elaborat, confecționat și implementat un dispozitiv de măsurare a turațiilor motoarelor pompelor electrice ermetice. Structura EmD în bază de MCU a permis stocarea și extragerea din LMU a 20 de date măsurate iar panoul de comandă, permite utilizatorului de a introduce rapid parametri corespunzător pompei și vizualizarea turațiilor. Utilizarea ecranului LCD și a componentelor moderne a făcut posibilă reducerea masei și gabaritelor dispozitivului. Semnalul util (μV) proporțional numărului de turații se conține în componenta cîmpului magnetic ce înconjoară motorul electric în lucru și a fost pus în evidență cu ajutorul unei serii de filtre active de ordinul doi trece jos, sumar - ordinul 12. În rezultat dispozitivul permite înregistrarea turațiilor pompelor electrice ermetice cu puterea cuprinsă între 1-250 kW, pentru motoare cu alimentare monofazată și trifazată [107].
- A fost elaborat și confecționat un bloc de comandă și control a temperaturii pentru sisteme autonome de încălzire, construit conform structurii EmD în bază de MCU. Pentru a spori calitatea dispozitivului accentul a fost pus pe costul final. Dispozitivul poate fi conectat la rețea de curent monofazat sau trifazată, urmărește prezența fazelor, afișează temperatura curentă și intervalului temperaturilor de lucru, poate capta semnale de la mai multe tipuri de senzori. Structura EmD utilizată oferă posibilitatea de modernizare a caracteristicilor tehnice, dispozitivul poate fi adaptat rapid pentru diferite tipuri de instalații termice, are preț și gabarite reduse [110-113].
- Utilizînd structura EmD cu dimensiunea spațiului I/O extins, a fost proiectat, elaborat și implementat un panou de indicare pentru jocul de baschet. Masivul de date necesar de indicat cere de la aplicație un număr mare de intrări/ieșiri circa 100. Pentru a minimiza costurile și a

spori calitatea sistemului a fost utilizată o metoda alternativa, funcția CPLD (I/O Hub) a fost executată cu circuite logice. În rezultat panoul confecționat corespunde cerințelor federației de specialitate în vigoare și posedă rezerve pentru modernizarea de perspectivă, are design modern și preț concurabil cu cee mai avansate analoge [117, 118].

- A fost elaborat și confecționat unui bloc electronic de comandă și control pentru alimentarea modulelor LED, care utilizează structura EmD simplă, îmbină în sine calitate și performanță sporită datorită costului și numărului de componente redus. Permite conectarea/deconectarea iluminării în dependență de nivelul de iluminare natural, efectuează protecția emițătoarelor LED de supratensiune și scurtcircuit, are masă și gabarite reduse. A fost elaborată o serie de module LED care pot fi alimentate de la blocul de alimentare elaborat [127 – 129, 133 - 141].

CONCLUZII ȘI RECOMANDĂRI

Lucrarea conține contribuții originale și include: o clasificare arhitectural-structurală, model parametric de calcul a costului hardware care permite estimarea costului EmS în spațiu de intrare/ieșire extins, metodologie de analiză cantitativă comparată a costului și de determinare a calității arhitecturilor de alternativă. Aplicarea rezultatelor obținute permite estimarea calității sistemului, respectiv câștigului/pierderii de calitate a abordărilor de alternativă și poate contribui per ansamblu la reducerea timpului de proiectare și implementare pe piață. De asemenea, metodologia propusă a fost aplicată în proiectarea, elaborarea și implementarea unei serii de mostre funcționale ale dispozitivelor cu destinație medicală, aplicații în industrie și sfera socială.

Sintetizând rezultatele obținute, rezultă următoarele concluzii:

1. A fost efectuată analiza calitativă a soluțiilor de alternativă pe bază de microcontrolere și dispozitive logice programabile în proiectarea sistemelor încorporate, care a permis realizarea unei clasificări arhitectural-structurale pe 8 sisteme tipice.

2. Clasificarea propusă permite trecerea rapidă de la funcție la arhitectură, respectiv de la organizare la structura sistemului proiectat.

3. A fost elaborat un model parametric de calcul a costului hardware care permite estimarea costului EmS în spațiu de I/O extins până la 1500 de intrări/ieșiri la etapa de proiectare timpurie a sistemului încorporat.

4. În baza modelului propus a fost efectuată cercetarea variației costului cablajului imprimat în funcție de spațiul de intrare/ieșire al aplicației încorporate și volum de producție redus, care a permis identificarea a trei zone distincte ca cost în spațiul de intrare/ieșire extins.

5. Cercetarea efectuată și identificarea celor trei zone distincte arată necesitatea reducerii numărului de intrări/ieșiri în spațiul aplicației încorporate, în special dacă spațiul necesar este inițial la granița dintre zonele 2-1 sau 3-2.

6. Aplicarea modelului elaborat permite determinarea dimensiunilor fizice ale dispozitivului proiectat în limitele de eroare ($\pm 3,3\%$) ale modelului parametric propus.

7. A fost elaborată o metodologie de analiză cantitativă comparată a costului și de determinare a calității arhitecturilor EmS de alternativă care permite estimarea câștigului/pierderii de calitate și alegerea platformei tehnologice pentru realizarea nucleului dispozitivului încorporat.

8. Aplicarea rezultatelor obținute la nivel de clasificare, model și metodologie elaborate poate contribui per ansamblu la reducerea timpului de proiectare și implementare pe piață (time-

to-market) a sistemelor încorporate de nivel mediu sau redus ca complexitate și volum de producție.

9. A fost proiectat un dispozitiv de înregistrare și indicare a radiației UV în baza unui senzor de radiație UV-diferențial confecționat în cadrul Laboratorului de Micro-Optoelectronică al UTM.

10. A fost elaborat și asamblat un ionizator cu trei regimuri de lucru și ajustare fină a tensiunii de ieșire - un model simplu și ieftin, utilizat în profilaxia și tratarea maladiilor respiratorii.

11. Ionizatorul cu șase regimuri de lucru și ajustare fină a tensiunii de ieșire proiectat și confecționat ulterior este un produs intermediar între primul și ultimul dispozitiv din această serie.

12. A fost elaborat și confecționat un ionizator cu nouă regimuri de lucru, permite alegerea individuală a parametrilor și ajustarea fină a tensiunii de ieșire și încheie ciclul de dispozitive de aeroionoterapie.

13. Dispozitivul de tratament cuantic Teralaser D a fost elaborat și confecționat în baza diodelor laser cu maximul de emisie 810, 850, 890, 950 și 980 nm confecționate în cadrul Laboratorului de Micro-Optoelectronică al UTM și este utilizat în fizioterapie pentru stimularea și tratarea neinvazivă a țesuturilor.

14. A fost efectuată modernizarea dispozitivului Teralaser D. Ca rezultat Teralaser MF este dotat cu mai multe regimuri de lucru, poate stoca informația individuală pentru 20 pacienți și este portabil.

15. A fost proiectat, elaborat și implementat un dispozitiv de măsurare a turațiilor motoarelor pompelor electrice ermetice. Poate lucra în regim autonom și are masa și gabarite reduse.

16. A fost proiectat, elaborat și implementat un bloc de dirijare și control a temperaturii pentru sisteme autonome de încălzire. Poate lucra de la rețea de alimentare mono și trifazată. Permite automatizarea reglării temperaturii agentului termic.

17. A fost proiectat, elaborat și implementat un panou de indicare pentru jocul de Baschet. Permite modernizarea și introducerea modificărilor conform noilor reguli de joc introduse de federație la fiecare șase luni.

18. A fost proiectat, elaborat și implementat un Sistem micro-optoelectronic pentru iluminarea fațadelor. Permite utilizarea modulelor LED, are protecție de supratensiune și scurtcircuit, poate conecta/deconecta emițătoarele LED în dependență de nivelul iluminării naturale.

Ca viitoare direcții de cercetare intenționăm:

1. Dezvoltarea modelului parametric de estimare a costului EmS și a metodologiei de determinare a câștigului/pierderii de calitate prin extinderea factorilor de performanță considerați, inclusiv a factorului de consum energie, pe segmentul de aplicații încorporate low-end cu volum redus sau mediu de realizare.

2. Elaborarea unui sistem informatic, inclusiv a unei baze de date care va permite aplicarea modelului și a metodologiei dezvoltate în vederea generării on-line a soluției optime ca câștig de calitate și timp minim de proiectare-implementare pe piață.

BIBLIOGRAFIE

1. https://en.wikipedia.org/wiki/Embedded_system#cite_note-1. Embedded system.
2. Catsoulis J. Designing Embedded Hardware. O'Reilly, 2nd edition, 2005, 20-45p. [ISBN 0596007558](https://www.amazon.com/dp/0596007558).
3. Matalon S., Klein R., Walls C. Embedded System Power Consumption: A Hardware or Software Issue? <https://www.mentor.com/esl/resources/overview/embedded-system-power-consumption-a-software-or-hardware-issue--374257e7-4a93-4229-84a6-89d855b2443b>.
4. Di Paolo Emilio M., "Embedded Systems Design for High-Speed Data Acquisition and Control". Springer, 2015, 30-36 p.
5. Staunstrup J. and Wolf W. Eds, "Hardware/Software Codesign: Principles and Practice". Springer, 1997, 15-40 p.
6. Valvano J. "Embedded Systems: Introduction to ARM Cortex-M Microcontrollers". CreateSpace Publishing, volume 1, 2015, 25-60 p.
7. Noergaard T. Embedded Systems Architecture. A Comprehensive Guide for Engineers and Programmers. Elsevier, 2005, 35-60 p.
8. Berger A. Embedded Systems Design. An Introduction to Processes, Tools and Techniques. CMP Books, 2002, 17-31 p.
9. Wolf W. Computers as Components. Principles of Embedded computing system design. Morgan Kaufmann Publishers, 2nd edition, 2008, 18-27 p., ISBN 9780123743978.
10. Hennessy J., Patterson D. Computer Architecture: A Quantitative Approach. Morgan Kaufmann Publishers, San Mateo, 2007, 19-25 p., ISBN 0123704901.
11. Hennessy J., Patterson D. Computer Architecture: A Quantitative Approach. Morgan Kaufmann Publishers, San Francisco, 2003, 14-40 p., ISBN 1558605967.
12. Stone H. High-Performance Computer Architecture. 3rd edition, 1993, 35-70 p., ISBN 9780201526882.
13. Eles P. ş. a. Process scheduling for performance estimation and synthesis of embedded systems. In Proceedings of the CONTI'98. Timisoara, 1998, 246-257 p.
14. Altenbernd P. Deadline-monotonic software scheduling for the co-synthesis of parallel hard real-time systems. In Proceedings of the ED&TC'95. Paris, 1995, 190-195 p.
15. <https://www.altera.com/support/literature/lit-index.html>. Documentation. FPGAs, CPLDs.
16. <http://www.mathstar.com>.
17. Halfhill T. Mathstar challenges FPGAs: New reconfigurable-logic chips have massively parallel arrays. Microprocessor Report, July 24, 2006.
18. Johnson J. Using customizable MCUs to bridge the gap between dedicated SoC ASSPs, ASICs and FPGAs. <http://www.embedded.com> (vizitat 5.05.2011).

19. Khalilollahi Y. What platform ASICs are and when to use them. <http://www.eetimes.com> (vizitat 18.05.2011).
20. Johnson J. Using customizable MCUs to bridge the gap between dedicated SoC ASSPs, ASICs and FPGAs: Part 1. Retrieved June 14, 2007.
21. www.intel.com. INTEL 8051.
22. www.semiconductor.philips.com. Dallas-Maxim.
23. www.cygnal.com. Cygnal.
24. www.freescale.com. Freescale 68HC05.
25. www.microchip.com. Microchip PIC1650.
26. www.atmel.com. ATMEL, AT Tiny, AT90 și ATMega.
27. www.arm.com. Advanced RISC Machine, ARM7T, ARM9T.
28. www.okisemi.com.
29. Mueller S., Paul W. Computer Architecture: Complexity and Correctness. Springer, 2000, 20-45 p., ISBN 3540674810.
30. Wildermann S., Reimann F., D. Ziener, and J. Teich, "Symbolic System-level Design Methodology for multi-mode Reconfigurable Systems". Design Automation for Embedded Systems. Vol.17(2), 2013, 343-375 p.
31. D. Ragan, P. Sandborn, and P. Stoaks, "A detailed Cost Model for Concurrent use with Hardware/Software Codesign", Proc. of the 39th IEEE/ACM Design Automation Conference, New Orleans, LA, 2002, 269-274 p.
32. W. Fornaciari, F. Salice, and U. Bondi, "Development Cost and Size Estimation Starting from High-level Specifications". Proc. of the 9th Int. Symp. on Hardware/Software Codesign, Denmark, Copenhagen, 2001, 86-91 p.
33. Paik Joon-Young, Chung Tae-Sun, and Cho Eun-Sun, "Loop Transformations for Flash Memory: Cost models and Performance Effects". Design Automation for Embedded Systems. Vol.17(3), 2013, 627-667 p.
34. DeBardelaben J., Madisetti V., Gadiant A. The Economics of Design & Test of COTS-based Embedded Microelectronics Systems. IEEE Design and Test of Computers. Fall, 1997, 3-10 p.
35. <http://galorath.com/products/hardware/extended-capabilities-seer-h/>. SEER for Hardware, Electronics & Systems Extended Capabilities.
36. Vestias M., Neto H. System Level Analysis of Reconfigurable Hardware /Software Architectures. In: Proceedings of the XVII Conference on Design of Circuits and Integrated Systems. Santander, Spain, 2002, 255-260 p.
37. Teemu Pitkanen, Tommi Rantanen, Andrea Cilio, and Jarmo Takala. Hardware Cost Estimation for Application-Specific Processor Design. In: 5th International Workshop, SAMOS 2005. Samos, 2005, 212-221 p.

38. Stallings W. Computer Organization and Architecture. Designing for Performance. Prentice-Hall, 4th edition, 1996, 685 p.
39. Secrieru V., Zaprojan S., Găscă S. Elemente de organizare și funcționare a sistemelor încorporate. In: Proceeding of 4th International Conference “Telecommunications, Electronics and Informatics” ICTEI 2012. Chișinău, 2012, vol. II, 170-175 p., ISBN 978-9975-45-201-4.
40. Secrieru V., Zaprojan S., Dorogan V. A cost-performance analysis of embedded systems for low and medium-volumes applications. Meridian Ingineresc, UTM, 2012, nr. 2, 28-32 p., ISSN 1683-853X.
41. Secrieru V., Zaprojan S., Dorogan V. Analiza factorilor de cost în spațiul de proiectare a sistemelor încorporate. In: Proceeding of 4th International Conference “Telecommunications, Electronics and Informatics” ICTEI 2012. Chișinău, 2012, vol. II, 176-181 p., ISBN 978-9975-45-201-4.
42. Secrieru V., Zaprojan S., Dorogan V. Cercetarea variației costurilor cablajului imprimat în proiectarea sistemelor încorporate. Meridian Ingineresc, UTM, 2012, nr.1, 28-31 p., ISSN 1683-853X.
43. <http://www.microchip.com/ParamChartSearch/chart.aspx?branchID=71301&mid=&lang=en>.
44. <http://www.analog.com/en/analog-to-digital-converters/ad-converters/products/index.html>.
45. Hennessy J., Patterson D. Computer Architecture: A Quantitative Approach. Morgan Kaufmann Publishers, San Francisco, CA, 5th edition, 2012, 52-55 p., ISBN: 9780123838728.
46. Wang K. Advanced computer architecture: Parallelism, Scalability, Programmability. Mc Grawhill, 2nd edition, 1993, 89-131 p., ISBN 9780070702103.
47. Todos P. ș. a. Ultraviolet sensors with minimal sensibility in visible and IR spectrum regions. The Annals of the “Stefan cel Mare” University of Suceava. Suceava, 1999, Nr.12, 16-20 p.
48. Vieru T., Manole M., Savastru R., Zisu T. Ultraviolet radiation sensors on the basis of semiconductors. Proceedings of SPIE, Sixth Conference on Optics “ROMOPTO-2000”. Bucharest, 2000, vol. 4430, 858-863 p.
49. Dorogan V., Vieru T., Secrieru V., Prodan I. Senzori de radiație ultravioletă. Expoziția Internațională Specializată “INFOINVENT-2001”. Chișinău: AGEPI, 2001, 66 p.
50. Чистяков Н. Справочная книга радиолюбителя-конструктора. Москва: Радио и связь, 1990, 283 с.
51. Лихачёв В. Практические схемы на операционных усилителях. Москва: Досааф СССР, 1981, 25 с.
52. <http://www.solar.com/3d.htm>.

53. http://www.alibaba.com/product-gs/204758788/Digital_UV_Meter_UT_002_.html.
54. <http://www.coolest-gadgets.com/20060502/uv-exposure-meter>.
55. Dorogan V., Secieru V. Sursă de tensiune înaltă pentru alimentarea lustrei Cijevski. A treia conferință internațională de sisteme electromecanice și energetice. SIELMEN - 2001. Chișinău, 2001. vol. II. 217-218 p.
56. Dorogan V., Secieru V., Pocaznoi I. Dispozitiv de alimentare de tensiune înaltă pentru lustra Cijevski. Expoziția Internațională Specializată "INFOINVENT-2001". Chișinău: AGEPI, 2001, 65 p.
57. Касаткин А., Немцов М. Электротехника. Москва: Энергоатомиздат, 1983.
58. Иванов А. Справочник по электротехнике. Киев: ВИЦА ШКОЛА, 1984.
59. <http://www.ikar.udm.ru/lch.htm>. Аэроионизатор "ЛЧ-1".
60. <http://corsan.narod.ru/modific.html>. Аэроионизатор "Корсан"
61. Dorogan V., Secieru V., Munteanu E., Vieru T. Use and programming of microcontrollers for creation of various operational modes and formation of high-voltage power sources parameters. 2-nd International Conference on Information Technologies BIT+. Chishinau, 2002, 147 p.
62. Dorogan V., Secieru V., Munteanu E. Utilizarea microcontrolerilor la crearea aeroionizatoarelor cu un larg spectru funcțional. Materialele Colocviului Internațional de Fizică „Evrica”, ediția a IX-a. Chișinău, 2002, 106-107 p.
63. Dorogan V., Bejan N., Secieru V., Munteanu E. Power supply for luster Chijevsky. Proceedings of the 3rd International Conference on "Microelectronics and Computer Science" (ICMCS-02). Chisinau, 2002, vol. II, 335-338 p.
64. Dorogan V., Secieru V., Munteanu E. High – voltage power sources for air ionization. 4th International Conference on Electromechanical and Power Systems „SIELMEN 2003”. Chișinău, 2003, vol. III, 209-210 p.
65. Secieru V., Munteanu E., Dorogan V. Ionizator de aer multifuncțional. Symposia Professorum, ULIM, Seria: Inginerie și informatică. Chișinău, 2003, 80-83 p.
66. Секриеру В., Мунтяну Е. Автоматизация аэроионизатора. Москва: Радио, Нр. 1, 2004 38-41 с., ISSN 0033-765X.
67. Dorogan V., Secieru V., Munteanu E. Ionizator de aer. Registrul elaborărilor științifice în domeniul ingineriei electronice, materialelor multifuncționale și mecanicii fine; Agentia pentru Inovare și Transfer Tehnologic, Academia de Științe a Moldovei. Chișinău, 2005, 45 p.
68. Dorogan V. ș. a. Blocul de aeroionizare pentru complex fizioterapeutic. Conferința tehnico-științifică a colaboratorilor, doctoranzilor și studenților. Chișinău, 2010. vol. I, 96-99 p., ISBN 978-9975-45-158-1.

69. Dorogan V. ș. a. Bloc de aeroionizare pentru complex fizioterapeutic. Materiale Simpozionului Științific Internațional „Materiale noi multifuncționale și studierea proprietăților fizice și chimice. Ministerul Educației al R.Moldova, Universitatea de Stat din Tiraspol. Chișinău, 2011. 59-62 p., ISBN 978-9975-76-054-6.
70. <http://xwx.ru/>. Аэроионизатор Болотова Б-1 "АЭРОВИТ".
71. Dorogan V. ș. a. Aparate medicale pentru terapie cuantică. Meridian ingineresc, UTM, 2003, nr. 1, 31-37 p., ISSN 1683-853X.
72. Dorogan V. ș. a. Dispozitive terapeutice cuantice. Universitatea Liberă Internațională din Moldova, Symposia Professorum. Seria: Inginerie și Informatică. Chișinău, 2003, 105-109 p.
73. Secrieru V. Sistem electronic de dirijare cu dioda laser utilizată pentru terapia cuantică. Conferința Tehnico-Științifică a Studenților și Doctoranzilor. Chișinău, 2002, vol.III, 66-69 p.
74. Dorogan V. ș. a. Aparat pentru terapie cuantică. Brevet de invenție MD 2737 G2 din 2005.02.16, AGEPI, R.Moldova
75. Dorogan V. ș. a. Aparat pentru terapie cuantică. Registrul elaborărilor științifice în domeniul ingineriei electronice, materialelor multifuncționale și mecanicii fine; Agentia pentru Inovare și Transfer Tehnologic, Academia de Științe a Moldovei. Chișinău, 2005, 44 p.
76. Dorogan V. ș. a. Приборы для квантовой терапии. Online Catalog „MoldMEZIN &MoldDENT 2006”.
<http://www.exponet.ru/exhibitions/online/medizindentkish2006/optoelectronic.ru.html> (vizitat 6.02.2007).
77. Dorogan V. ș. a. The Quantum Therapy Device “Teralaser-MF”. Proceedings of the 5-th International Conference on „Microelectronics and Computer Science” (ICMCS-2007). Chisinau, 2007, vol. II, 11-15 p.
78. Дороган В. ș. а. Физиотерапевтические квантовые приборы "TERALASER". ИнтелЭкспо: Международный Инновационный Потенциал.
<http://www.intelexpo.ru/index3.php?RUB=20&YR=07&QR> (vizitat 3.02.2007).
79. Dieter P., Baker C. Make a Delta-Sigma Converter Using a Microcontroller’s Analog Comparator Module. www.microchip.com (vizitat 19.04.2007).
80. Stein R., Day J. D/A Conversion Using PWM and R-2R Ladders to Generate Sine and DTMF Waveform. <http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/00655a.pdf>.
81. http://www.detahome.ru/deta_quantum_15.htm.
82. Dorogan V. ș. a. Физиотерапевтический комплекс. Международный салон промышленной собственности, изобретения, промышленные образцы, товарные знаки -Архимед-2009. Москва, 2009. Каталог, часть 2, 111 с.
83. Дороган В. ș. а. Физиотерапевтический комплекс. V Международный Салон Инноваций и Новых Технологий «Новое Время». Севастополь, 2009.

84. Vieru S. ș. a. Aparat pentru terapie cuantică. Expoziția Internațională Specializată „Infoinvent-2009”. Chișinău, 2009, 66 p.
85. Dorogan V. ș. a. Dispozitive medicale elaborate în laboratorul Micro-Optoelectronică. Conferința Tehnico-Științifică a Colaboratorilor, Doctoranzilor și Studenților. Chișinău, 2009, 9 p., ISBN 978-9975-76-142-0.
86. Vieru T. ș. a. Integrated physiotherapy system. European Exhibition of Creativity and Innovation “EUROINVENT-2010”. Iasi, 2010, 95-96 p.
87. Vieru T. ș. a. Sistem Complex pentru Fizioterapie. The 3rd International Conference on Telecommunications, Electronics and Informatics. Chisinau, 2010, vol. II, 318-322 p., ISBN 978-9975-45-136-9.
88. Vieru S. ș. a. Bloc de terapie cuantică a complexului fizioterapeutic. Conferința Tehnico-Științifică a Colaboratorilor, Doctoranzilor și Studenților. Chișinău, 2010, vol. I, 100-101 p., ISBN 978-9975-76-158-1.
89. Secrieru V. ș. a. Biomedical Physiotherapeutic Complex. Proceedings of Inter. Conf. on Nanotechnologies and Biomedical Engineering (ICNBME-2011). Chisinau, 2011, 273-276 p.
90. Dorogan V. ș. a. Controlul și dirijarea complexului fizioterapeutic. Materiale Simpozionului Științific Internațional „Materiale noi multifuncționale și studierea proprietăților fizice și chimice. Universitatea de Stat din Tiraspol. Chișinău, 2011, 66-72 p., ISBN 978-9975-76-054-6.
91. Dorogan V. ș. a. Complex fizioterapeutic computerizat. Catalog Salonul Internațional de Inventică PROINVENT ediția a X-a. Cluj-Napoca: U.T.PRESS, 2012, 242 p., ISBN 978-973-662-709-5.
92. Dorogan V. ș. a. Computerized Physiotherapeutic Complex. Catalog of the 4-th European Exhibition of Creativity and Innovation EUROINVENT 2012. Iasi, 2012, 86 p., ISBN 978-973-703-759-6.
93. Dorogan V. ș. a. Complex fizioterapeutic computerizat. Computerized physiotherapeutic complex. Catalog of the 16-th International Salon of Research, Innovation and Technological Transfer „INVENTICA 2012”. Iasi: Performantica, 2012, 686 p., ISSN:1844-7880.
94. Dorogan V. ș. a. Оптоэлектронные приборы для физиотерапии. Optoelectronic Physiotherapeutic Complex. Catalog of the VIII International Salon of Inventions and New Technologies „New Time”. Sevastopol: Ukrainian Cultural-Informational Centre, 2012, 156-157 p.
95. Dorogan V. ș. a. Dorogan A. Computerized Physiotherapeutic Complex. Catalog of VI International Warsaw Invention Show – IWIS 2012. Waesaw: Association of Polish Inventors and Rationalizers, 2012, 63 p.

96. Dorogan V. ș. a. Complex fizioterapeutic. Conferința fizicienilor din Moldova CFM-2012. Conferința națională cu participare internațională la Fizică în memoriam Mihai Marinciuc. Rezumatele comunicărilor la Conf.șt.naț.cu participare internațională. Bălți: Presa universitară Bălțeană, 2012, 132-133 p., ISBN 978-9975-50-087-6.
97. <http://www.rikta.ru/rus/items/?group=1>.
98. <http://www.jiva.ru/all/products.php>. ВНПП ЖИВА, Лазерный аппарат ОРИОН.
99. <http://www.rza.org.ua/elteh/a-118.html>.
100. <http://www.rlocman.ru/shem/schematics.html?di=34953>. Схема для измерения скорости вращения двигателя с использованием недорогих компонентов.
101. Щербатюк В., Штурбин П. Радиоволновой тахометр. Москва: Радиомир, 2001, Нр. 112, 29-33 с.
102. <http://www.radioland.net.ua/contentid-20-page1.html>. Анализ фильтра низких частот.
103. <http://cxem.net/beginner/beginner43.php>. Практическое применение операционных усилителей. Часть вторая.
104. <http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/doc/op/index.htm>. Операционные усилители.
105. Волович Г. Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых электронных устройств. Москва: Додэка XXI, 2005., ISBN 5-94120-074-9
106. Пейтон А., Волш В. Аналоговая электроника на операционных усилителях. Москва: БИНОМ, 1994, 352 с.
107. Dorogan V., Sârcu S., Secieru V., Munteanu E. Tahometru digital. Registrul elaborărilor științifice în domeniul ingineriei electronice, materialelor multifuncționale și mecanicii fine; Agentia pentru Inovare și Transfer Tehnologic, Academia de Științe a Moldovei. Chișinău, 2005, 49 p.
108. Бурков В. Универсальный электронный термометр. Москва: Радио, 2000, Нр. 11, 34, 35 с.
109. Тушнов В. Термостабилизатор с широким интервалом. Москва: Радио, 2002, Нр. 2, 31 с, 32 с.
110. Secieru V. Bloc de dirijare și control a temperaturii pentru sisteme autonome de încălzire. Conferința Tehnico-Științifică a Studenților și Doctoranzilor. Chișinău, 2002, vol 3, 62-63 p.
111. Dorogan V., Secieru V., Munteanu E. The device of tracking and adjustment of temperature in systems of independent heating. 4th International Conference on Electromechanical and Power Systems „SIELMEN 2003”. Chișinău, 2003, vol. III, 23-24 p.
112. Секриеру В., Мунтяну Е. Терморегулятор с трехфазным питанием. Москва: Радио, 2005, Нр. 1, 44-46 с., ISSN 0033-765X

113. Secrieru V., Munteanu E., Balica St. Temperature guiding and control block for autonomic heat system. Transactions on Metrology and analytical methods of research. Academy of Sciences of Moldova, Institute of Chemistry. Chisinau, 2010, 74-81 p.
114. Вольдек А. Электрические машины. Ленинград: Энергия, 1974.
115. Арменский Е., Прокофьев П., Фалк Г. Автоматизированный электропривод. Москва: Высшая Школа, 1987.
116. www.analog.com. Analog Signals
117. Dorogan V., Vieru S., Secrieru V., Munteanu E. Panou de indicare pentru jocuri baschet. Registrul elaborărilor științifice în domeniul ingineriei electronice, materialelor multifuncționale și mecanicii fine; Agentia pentru Inovare și Transfer Tehnologic, Academia de Științe a Moldovei. Chișinău, 2005, 46 p.
118. Dorogan V., Munteanu E., Ștefan B., Secrieru V. Panou de indicare dinamică universal. Conferința Tehnico-Științifică a Colaboratorilor, Doctoranzilor și Studenților. Chișinău, 2009, vol. I, 5 p., ISBN 978-9975-76-142-0.
119. <http://www.mria-nt.com.ua/sport1.html>.
120. <http://www.victory.ftu.ru/sport1103.html>.
121. http://www.rusarena.ru/scoreboards/ns_xx61.php. Универсальные электронные табло NS2561 и NS3261.
122. www.prolightopto.com. ProLight Opto Technology Corporation.
123. <http://www.philipslumileds.com/products/>. Luxeon HR30.
124. <http://ledsupply.com/>. LEDSupply, For All Your LED Project Needs.
125. <http://www.philipslumileds.com/products/luxeon/luxeonK2>. LUXEON Rebel.
126. <http://www.philipslumileds.com/products/superflux>; [Application Brief](#).
127. Bostan I. ș. a. Sistem de iluminarea satelor în baza energiei generate de microhidrocentrale. Registrul elaborărilor științifice în domeniul ingineriei electronice, materialelor multifuncționale și mecanicii fine; Agentia pentru Inovare și Transfer Tehnologic, Academia de Științe a Moldovei. Chișinău, 2005, 43 p.
128. Secrieru V., Munteanu E., Balica St. Bloc de alimentare prin impuls pentru iluminare supraeconomă. Conferința Jubiliară Tehnico-Științifică a Colaboratorilor, Doctoranzilor și Studenților consacrată celei de-a 40-a Aniversare a Doctoranturii UTM. Chișinău, 2006, vol. I, 88-89 p., ISBN 978-9975-76-025-6.
129. Secrieru V., Munteanu E., Balica St. Iluminare exterioară prin intermediul ledurilor supraluminiscente. Conferința Jubiliară Tehnico-Științifică a Colaboratorilor, Doctoranzilor și Studenților consacrată celei de-a 40-a Aniversare a Doctoranturii UTM. Chișinău, 2006, vol. I, 93- 95 p., ISBN 978-9975-76-025-6.
130. http://www.betlux.ru/led_cup_bulb_lighting.html. Betlux, Светодиоды и индикаторы.

131. <http://www.radiodetali.ru/prioritet/project.htm>. Радиодетали и электронные компоненты-
132. <http://www.transistor.ru/catalog/referencepopup/7217/>.
133. Dorogan V. ș. a. Sisteme inteligente de iluminare ultra economie. Ultra economical intelligent illumination systems. Catalogul Salonului International de Inventica PRO INVENT, editia a VI-a. EXPO TRANSILVANIA. Cluj-Napoca, 2008.
134. Дороган В. и т. д. Интеллектуальные экономичные системы освещения. XI Московский Международный Салон Промышленной Собственности «АРХИМЕД». Москва, 2008, 419-420 с.
135. Secrieru V., Balica Ș., Munteanu E. Прибор управления декоративным светодиодным освещением. Москва: Радио, 2008, Нр. 5, 40-42 с., ISSN 0033-765X
136. Дороган В., Виеру С., Виеру Т., Секриеру В. Энергосберегающие системы освещения. IX Международная Научно-Практическая Конференция «Современные информационные и электронные технологии». Одесса, 2008, том 2, 85 с.
137. Dorogan V. ș. a. Ultra economical intelligent illumination systems. International Exhibition of Inventions, Research and Technological Transfer, INVENTICA'2008. Iași: PERFORMANTICA, 2008, 592 p., ISBN: 978-973-730-491-9.
138. Дороган В. ș. a. Интеллектуальные экономные системы освещения. ИнтелЭкспо: Международный Инновационный Потенциал.
<http://www.intelepox.ru/index3.php?RUB=10&YR=08&QR> (vizitat 8.12.2010).
139. Dorogan V. ș. a. Felinar supraeconom în baza diodelor supraluminiscente cu alimentarea de la rețea 220V, 50Hz și automatizare zi/noapte. Conferința tehnico-științifică a colaboratorilor, doctoranzilor și studenților. Chișinău, 2010, vol. I, 78-82 p., ISBN 978-9975-45-158-1.
140. Secrieru V. ș. a. Felinar supraeconom in baza diodelor supraluminiscente cu conectare automată (zi/noapte/zgomot). Implimentare - căminul 12, utm. Conferința Tehnico-Științifică a Colaboratorilor, Doctoranzilor și Studenților, UTM. Cișinău, 2012. 29-32 p., ISBN 978-9975-45-250-2.
141. Secrieru V. Iluminat eficient bazat pe diode supraluminiscente cu activare automată zi/noapte/zgomot. Meridian Ingineresc, 2014, nr.1, 54-59 p., ISSN 1683-853X.

ANEXE

ANEXA 1. Scheme electrice principale și cablaje imprimate ale dispozitivelor elaborate și confecționate.

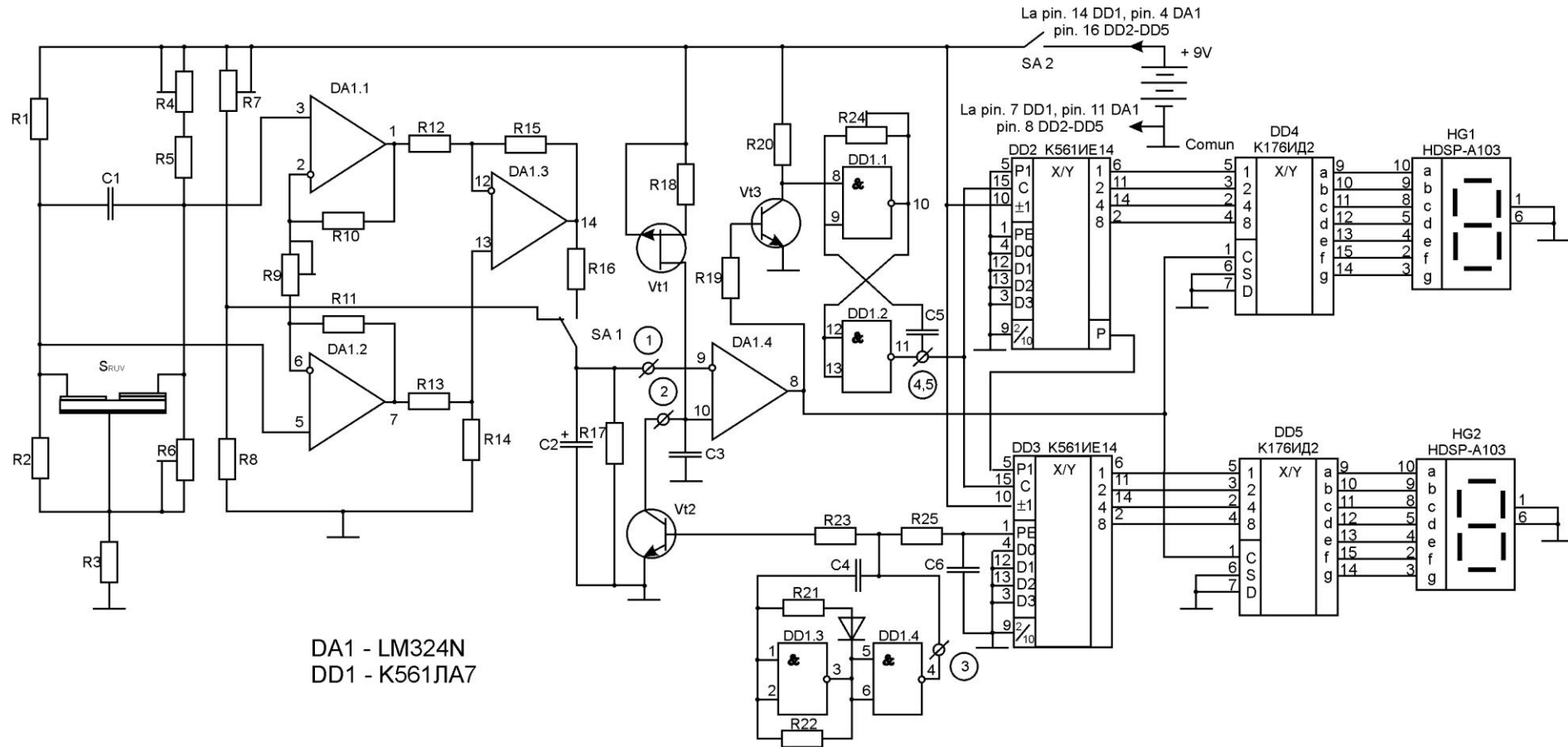


Fig. A.1.1 Schema electrică principală a dispozitiv de înregistrare și indicare a radiației UV

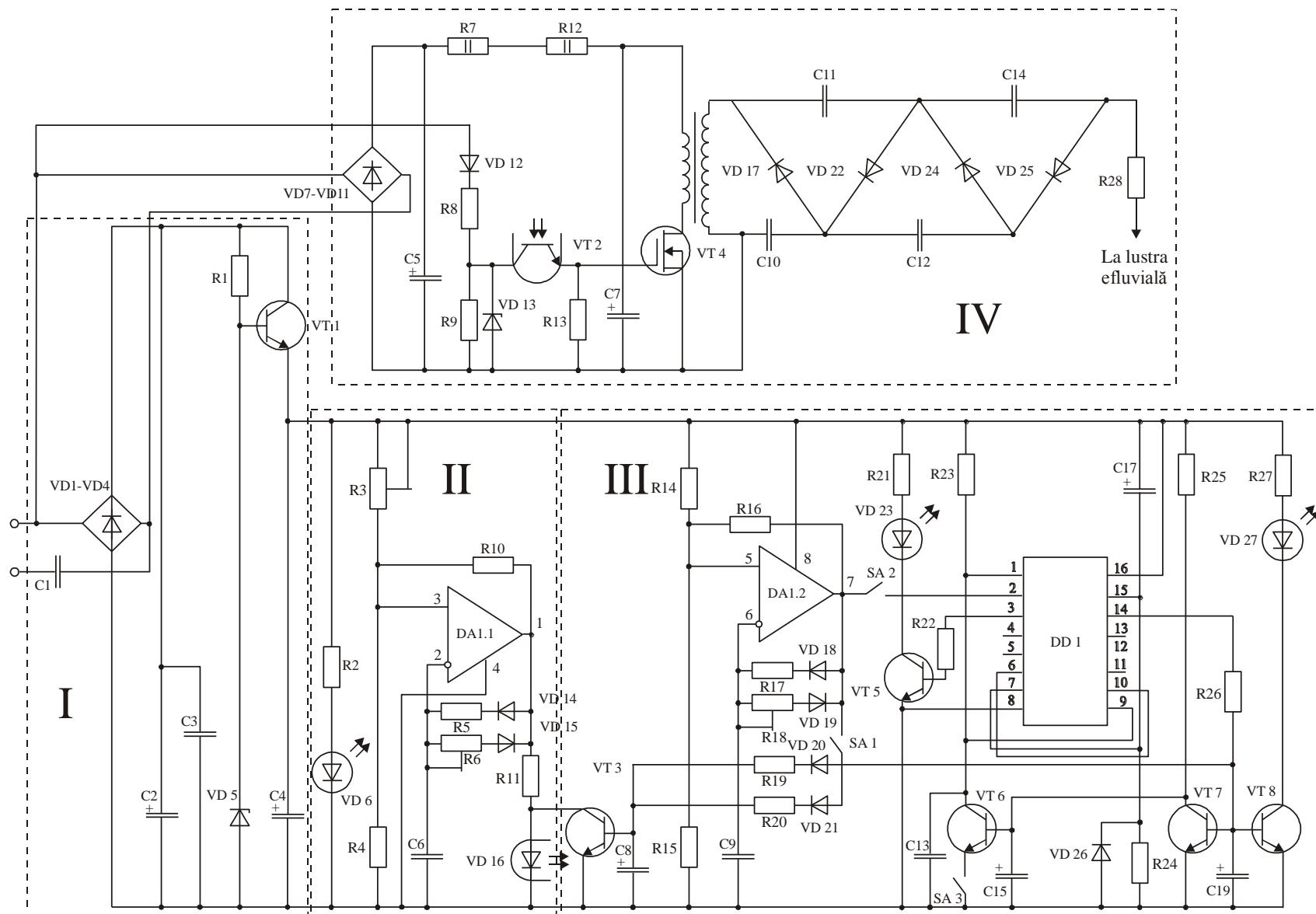


Fig. A.1.2 Schema electrică principală a ionizatorului cu trei regimuri de lucru și ajustare fină a tensiunii de ieșire

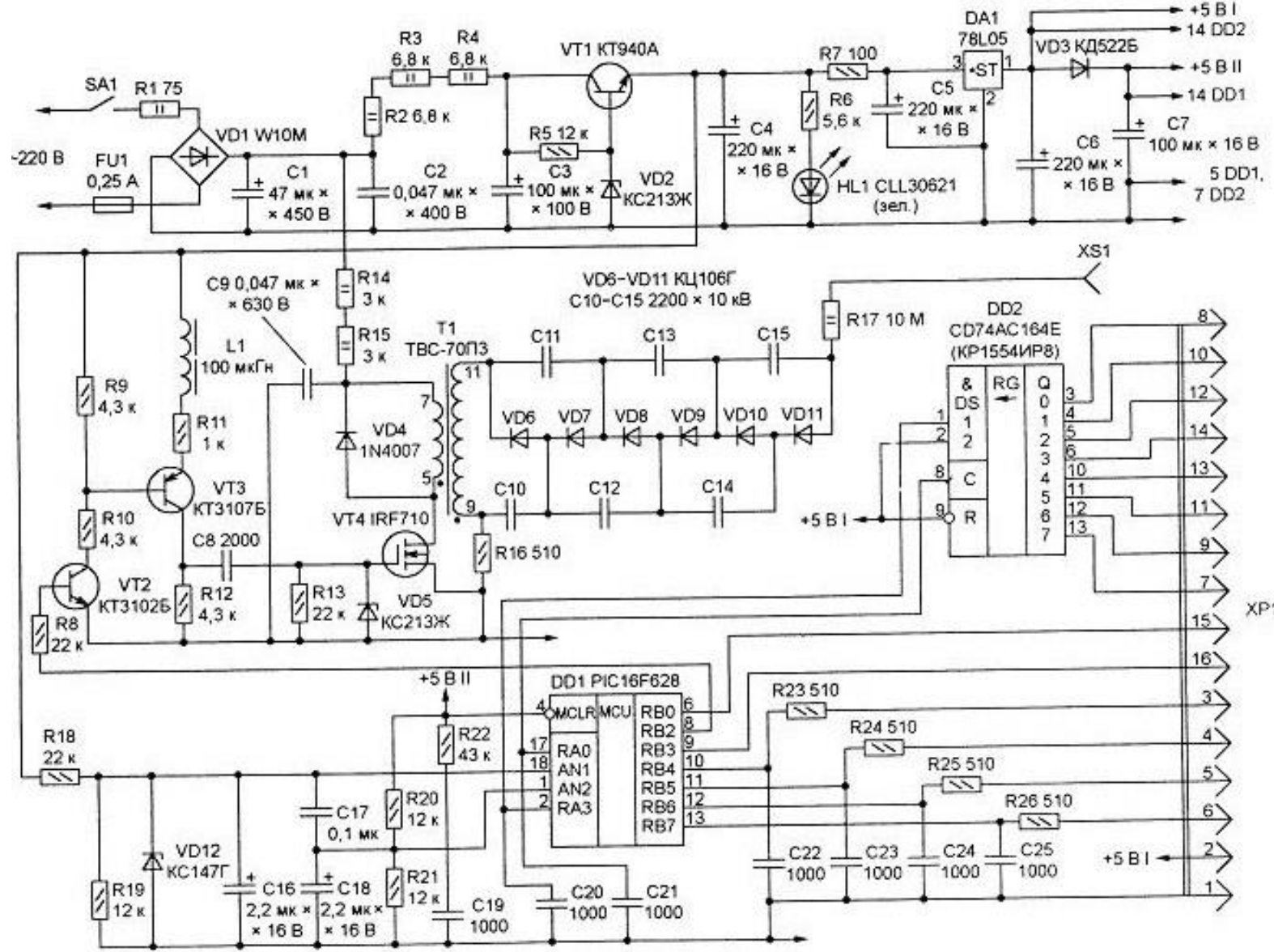


Fig. A.1.3 Schema electrică principală a ionizatorului cu șase regimuri de lucru și ajustare fină a tensiunii de ieșire

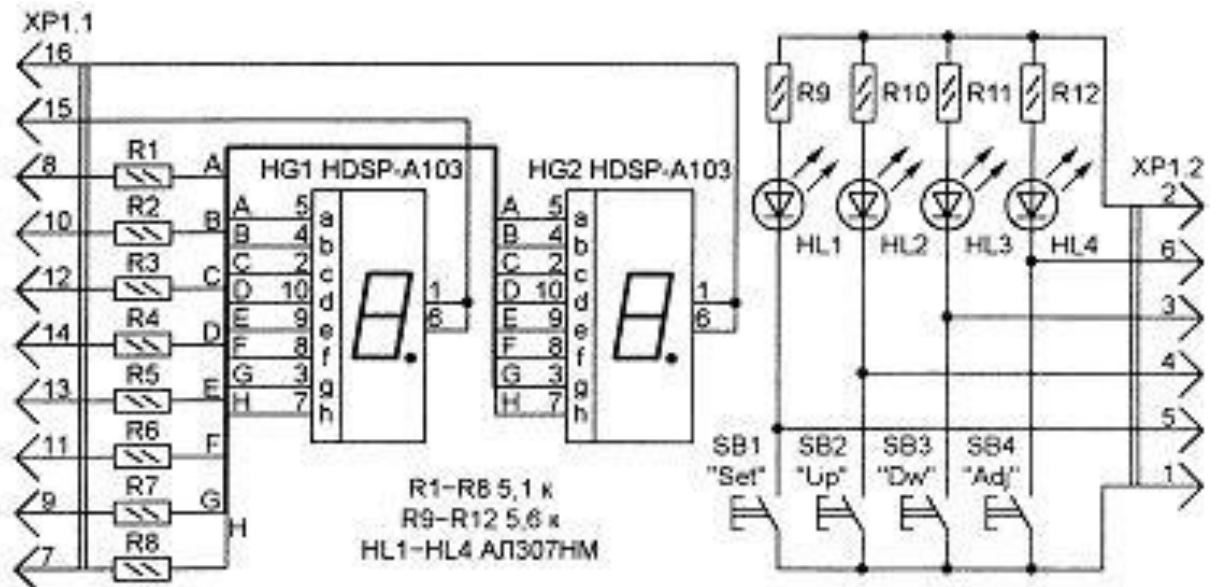


Fig. A.1.4 Schema electrică principală a modului de afișare

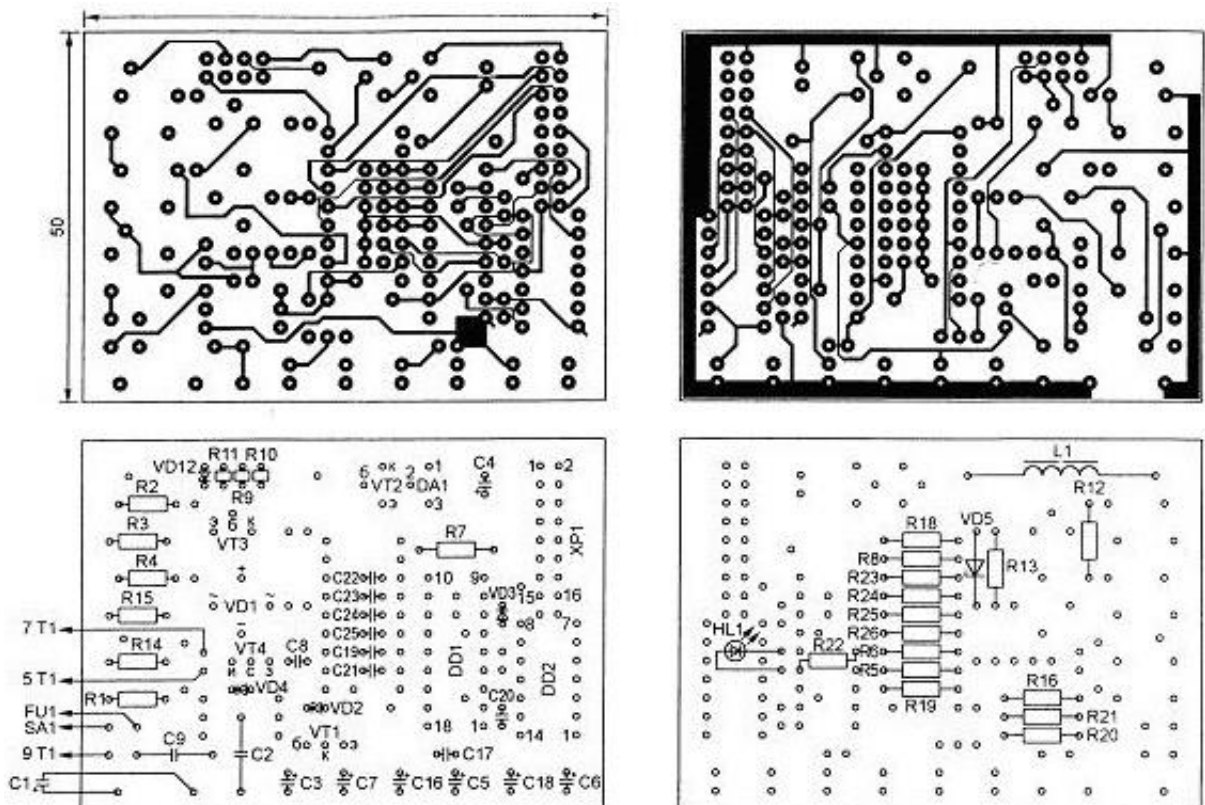


Fig. A.1.5 Cablajul imprimat față/spate și plasarea componentelor

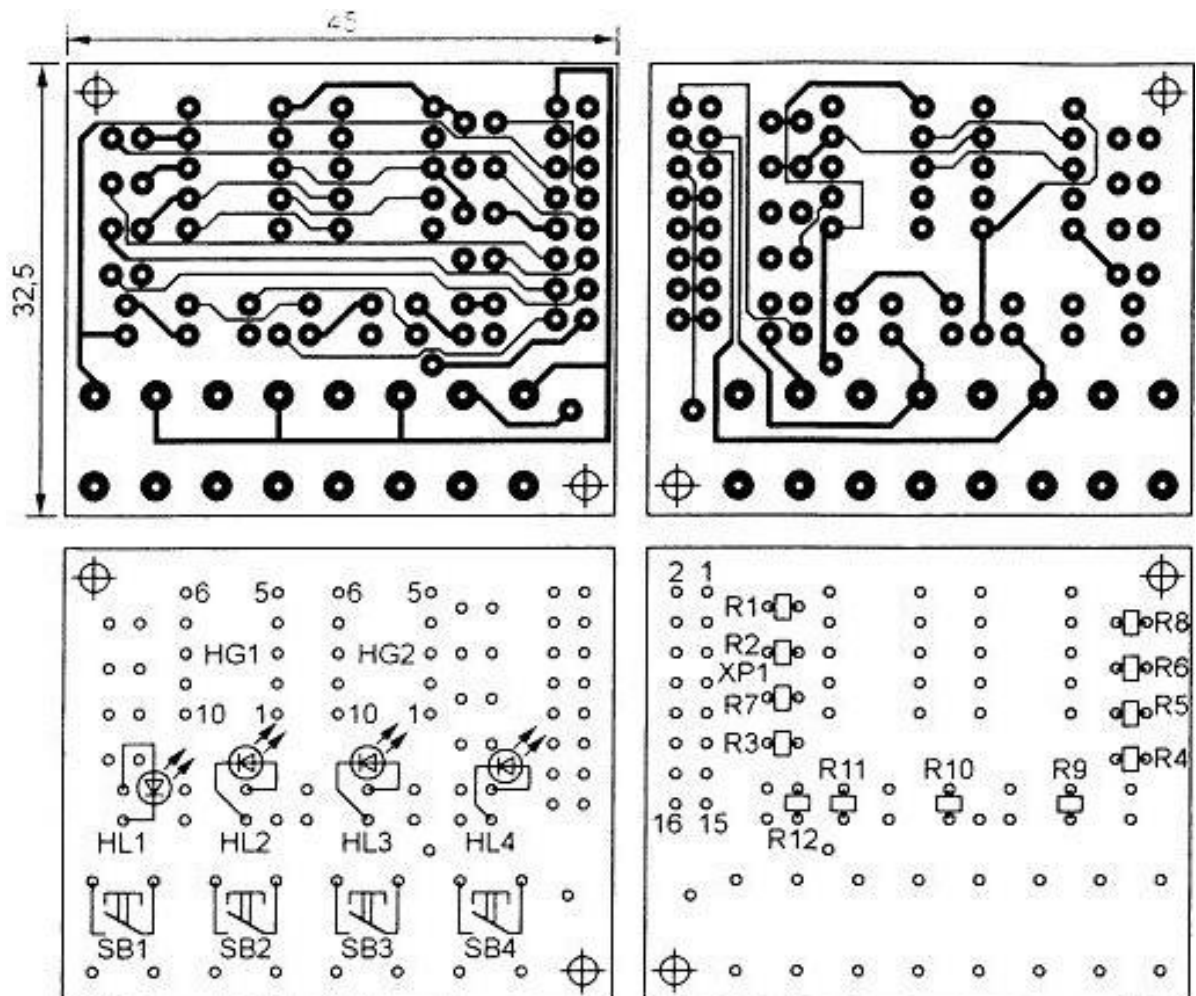


Fig. A.1.6 Cablajul imprimat a modului de afișare față/spate și plasarea componentelor

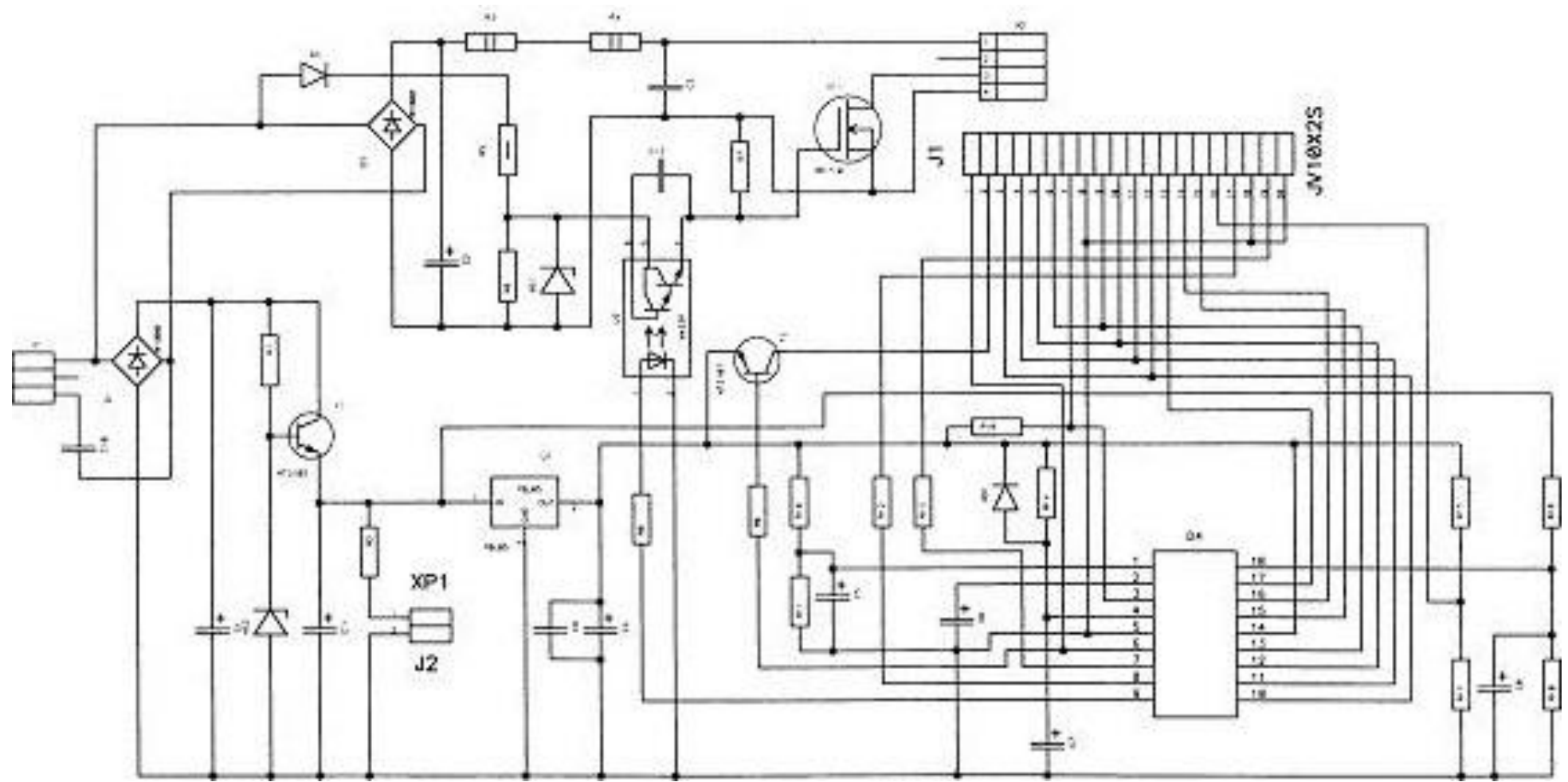


Fig. A.1.7 Schema electrică principală a ionizatorului cu nouă regimuri de lucru

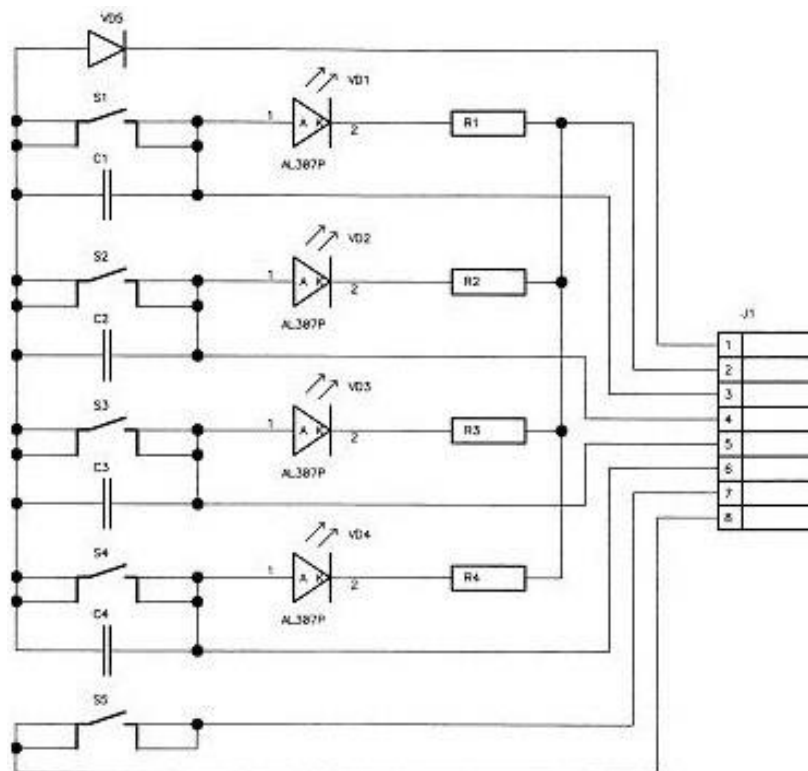


Fig. A.1.8 Schema electrică principală a panoului de comandă

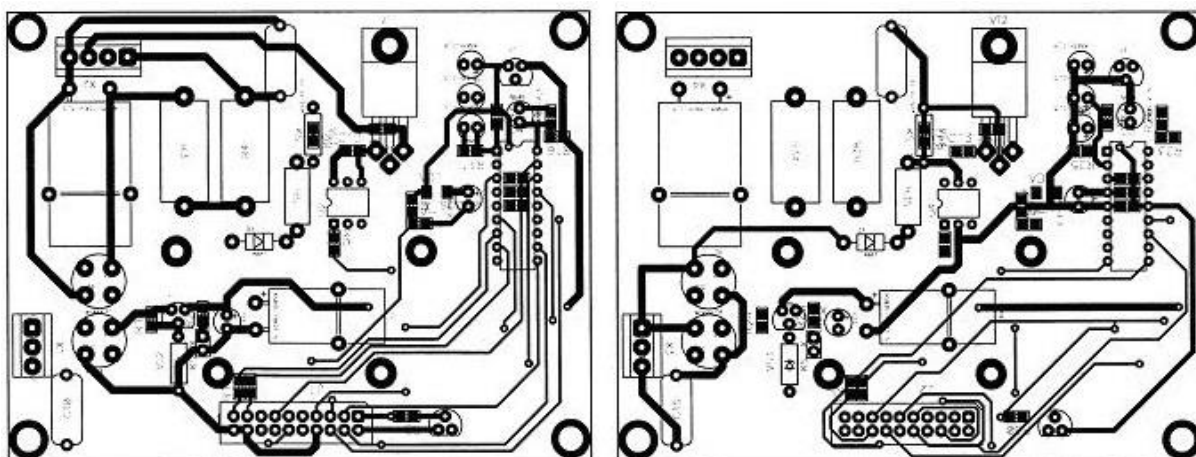


Fig. A.1.9 Cablajul imprimat a dispozitivului

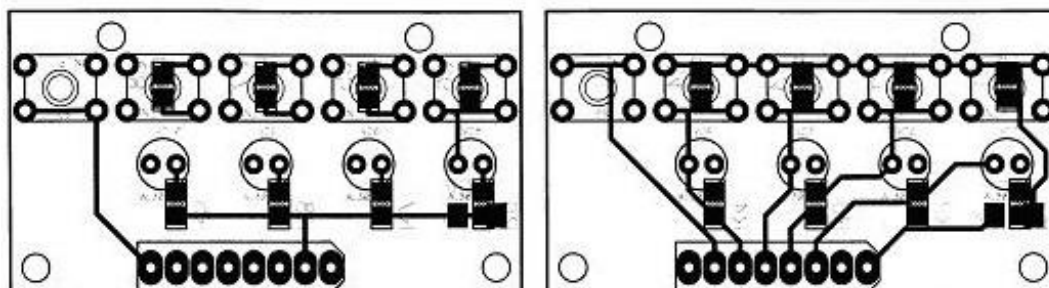


Fig. A.1.10 Cablajul imprimat al panoului de comandă

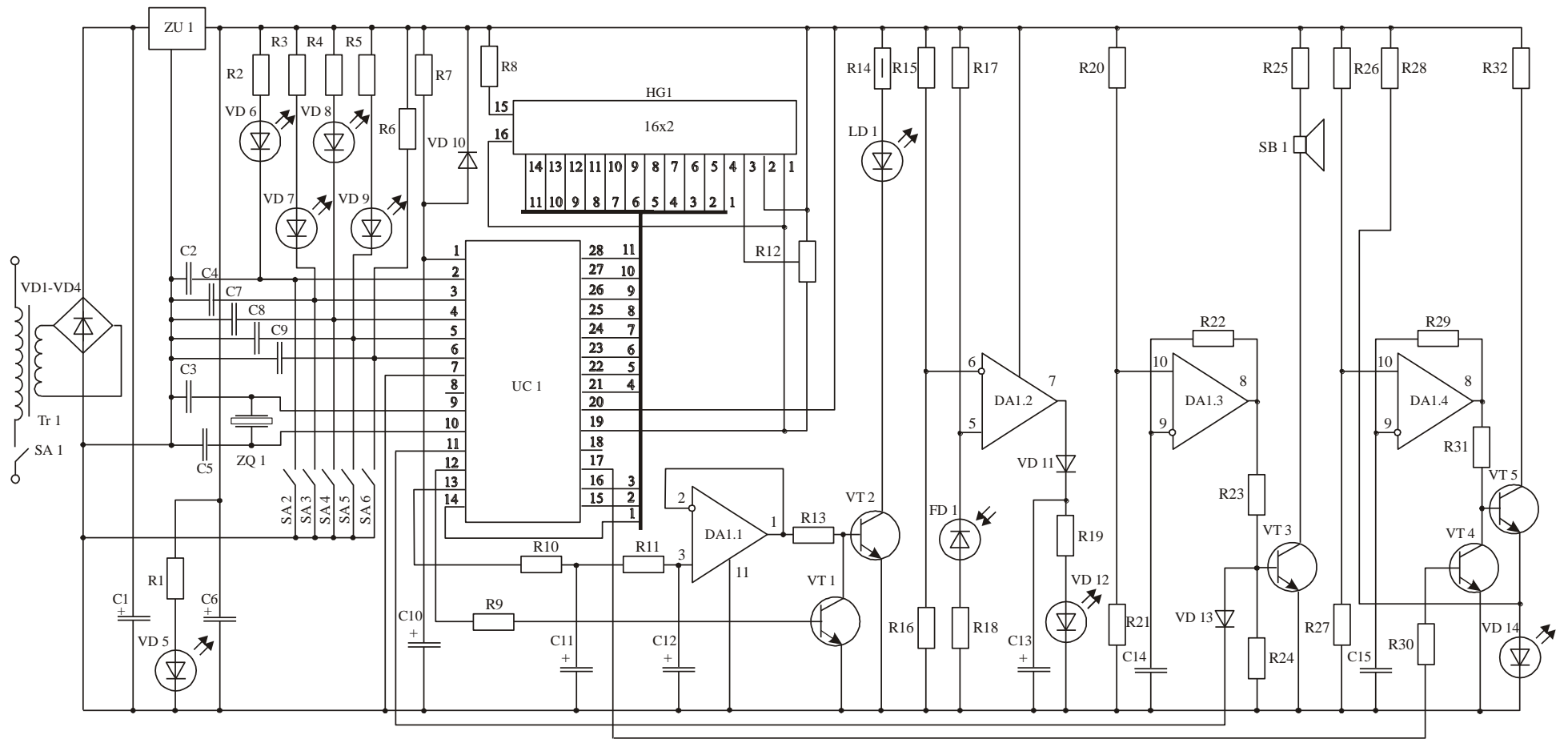


Fig. A.1.11 Schema electrică principală a dispozitivului Teralaser D

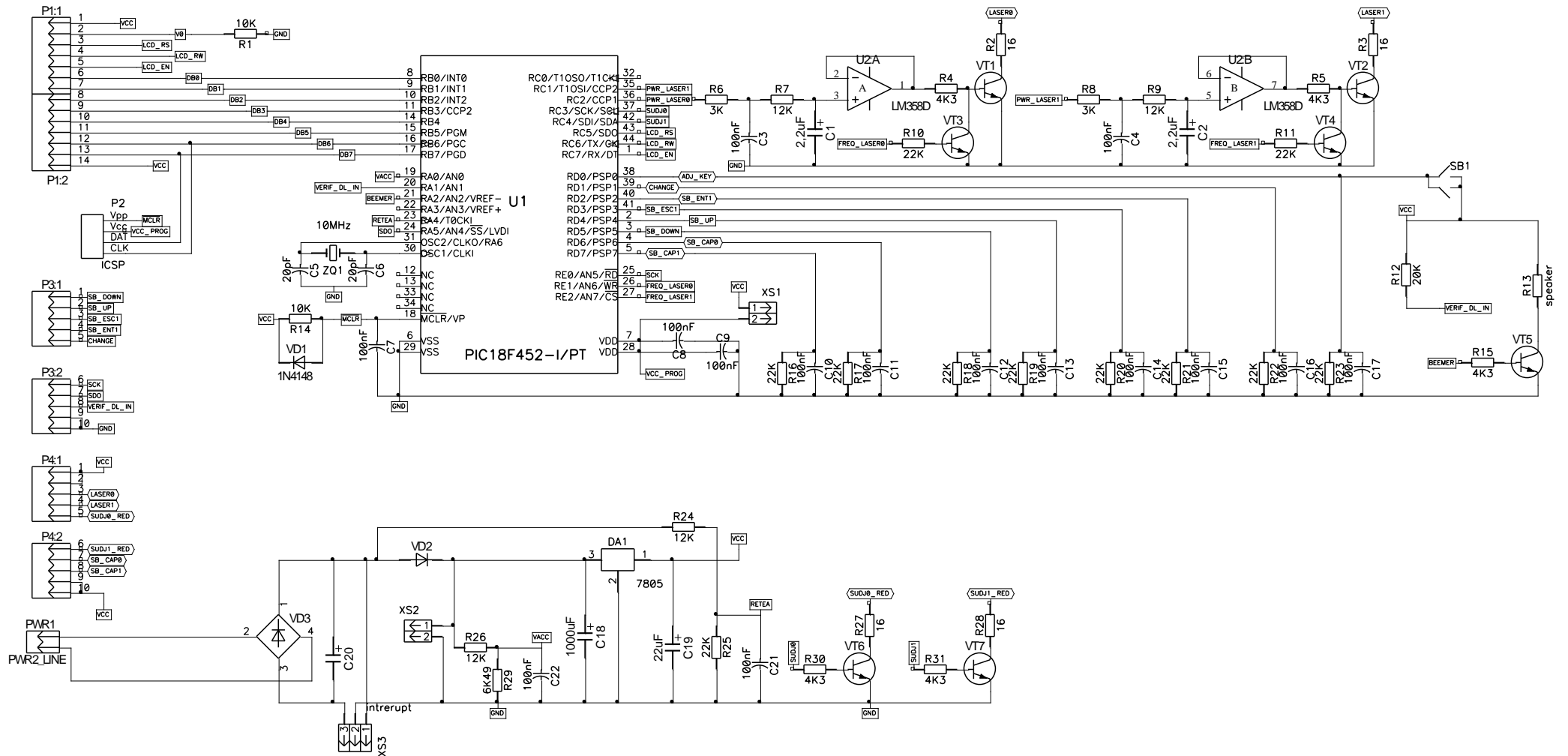


Fig. A.1.12 Schema electrică principală a dispozitivului Teralaser-MF

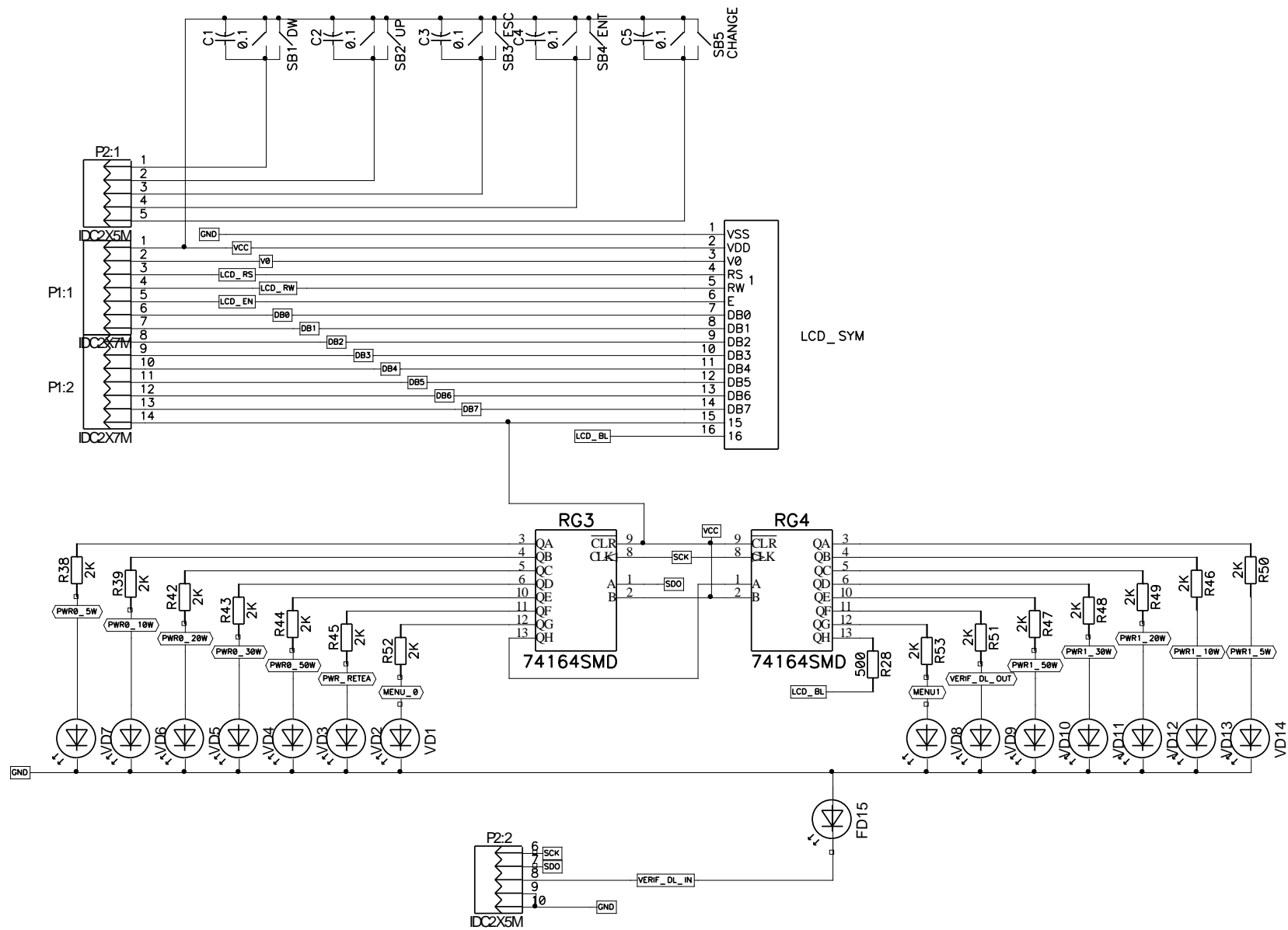


Fig. A.1.13 Schema electrică principală a panoului de indicare

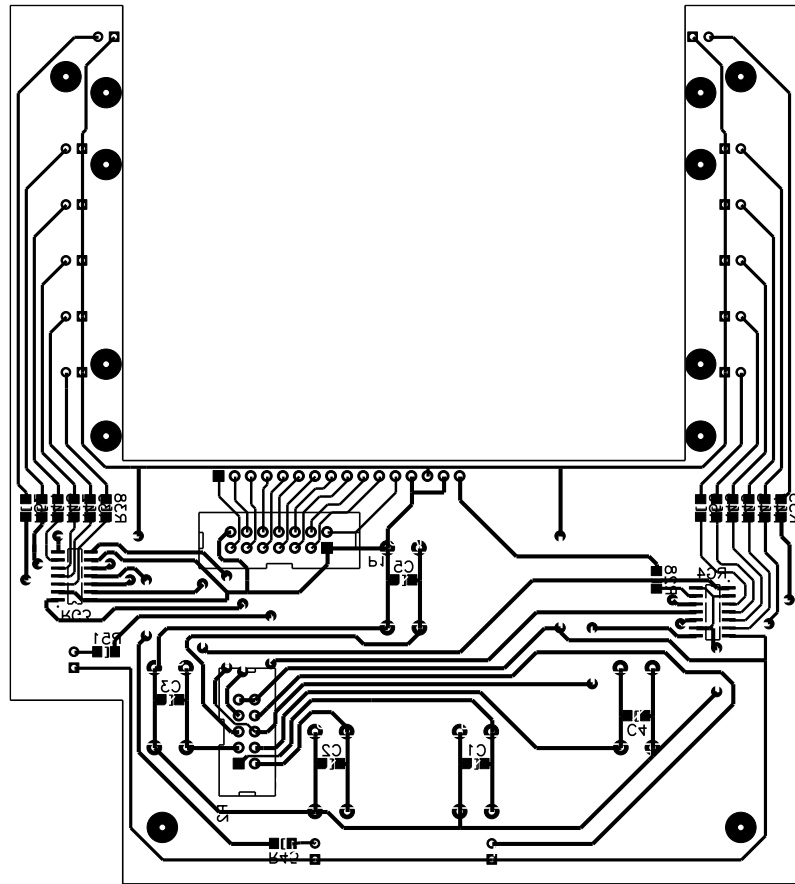


Fig. A.1.14 Cablajul imprimat a plăcii de indicare, față

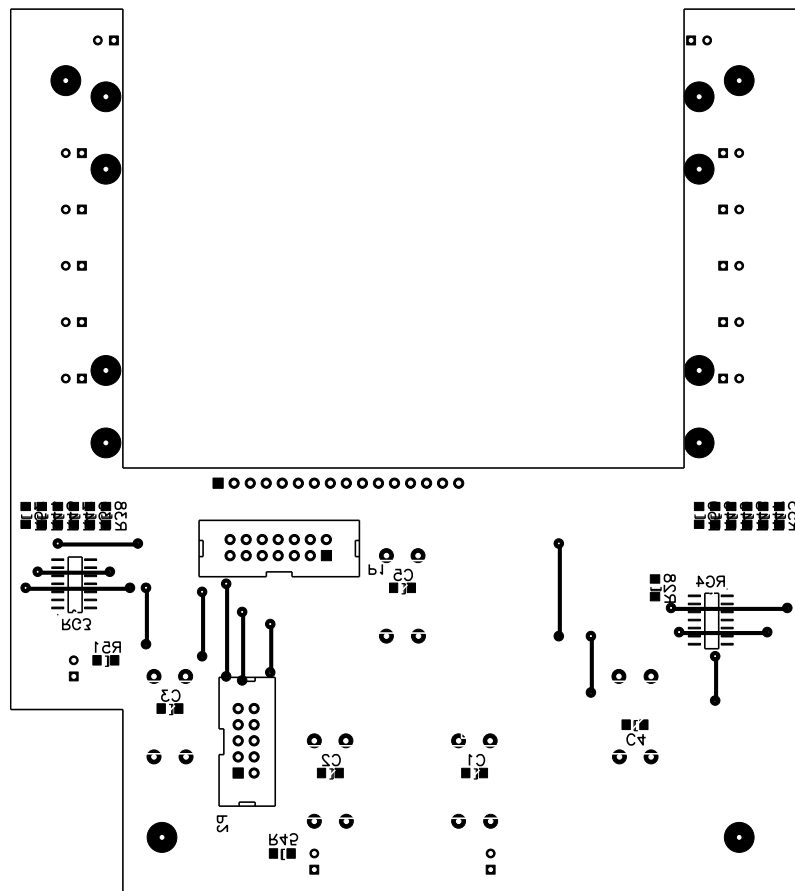


Fig. A.1.15 Cablajul imprimat a plăcii de indicare, spate

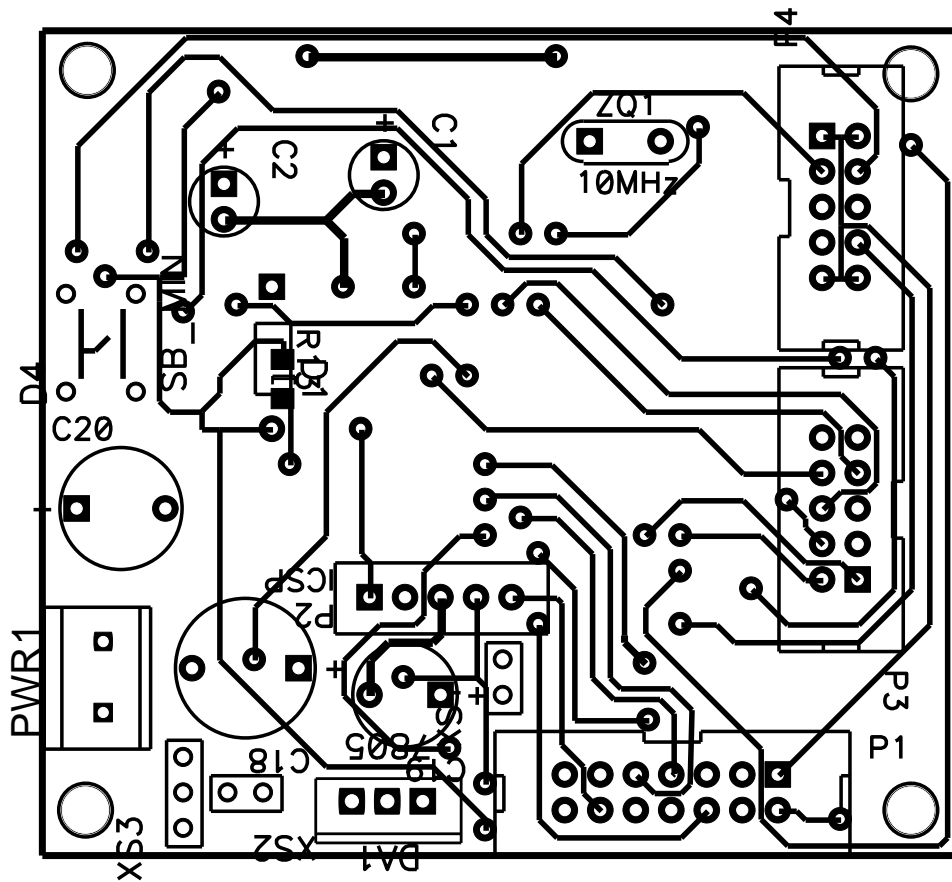


Fig. A.1.16 Cablajul imprimat al plăcii principale, față

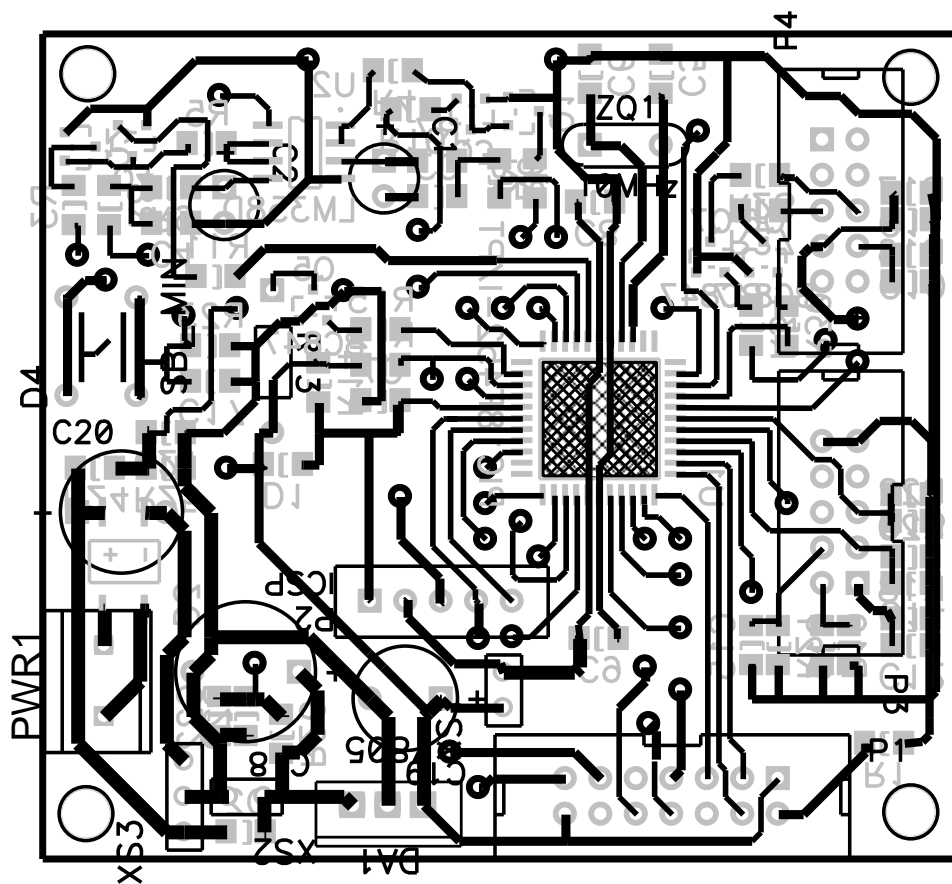


Fig. A.1.17 Cablajul imprimat al plăcii principale, spate

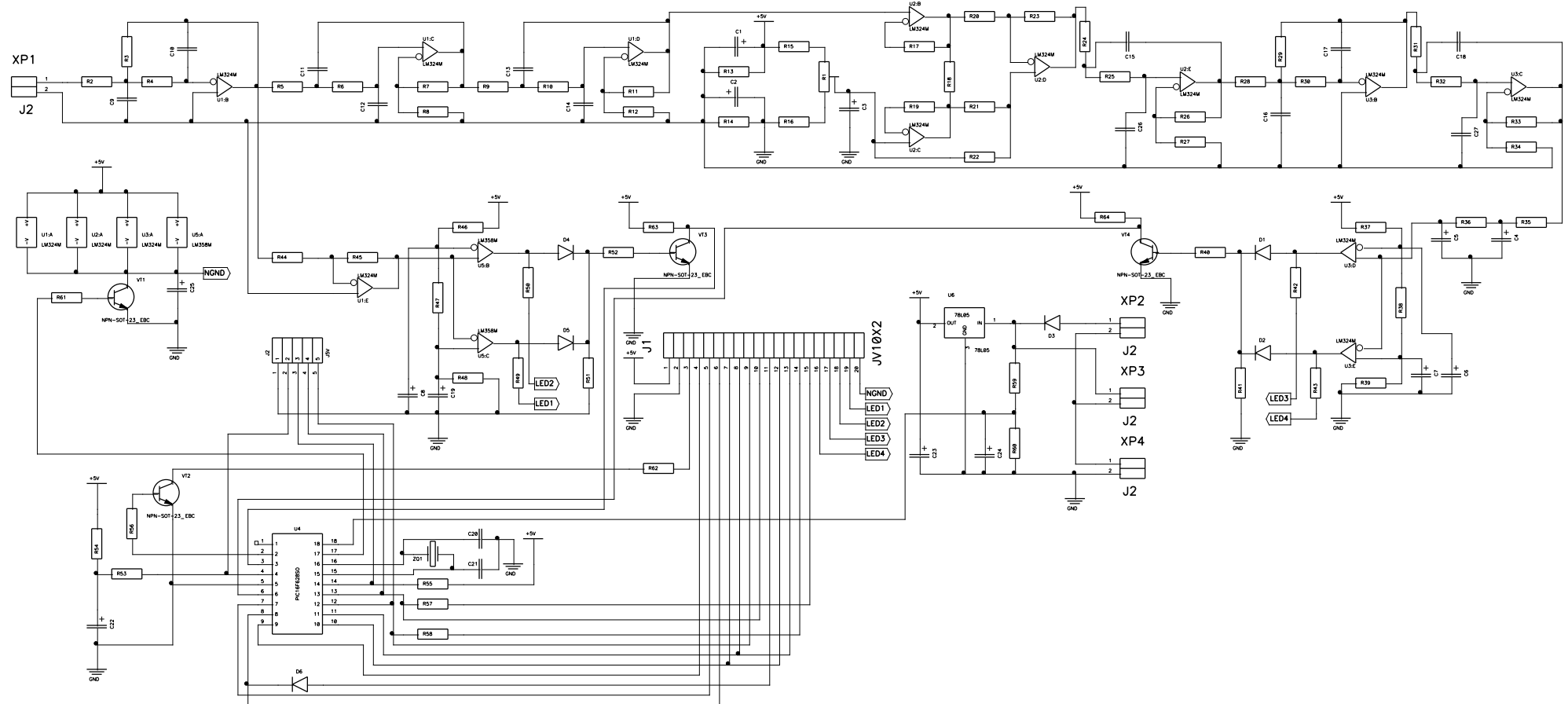


Fig. A1.18 Schema electrică principală a dispozitivului de măsurare a turațiilor motoarelor electrice ermetice

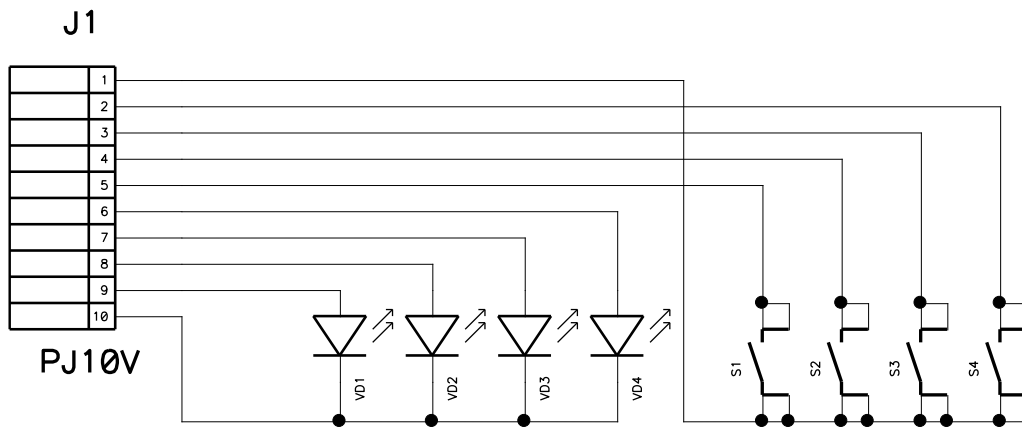
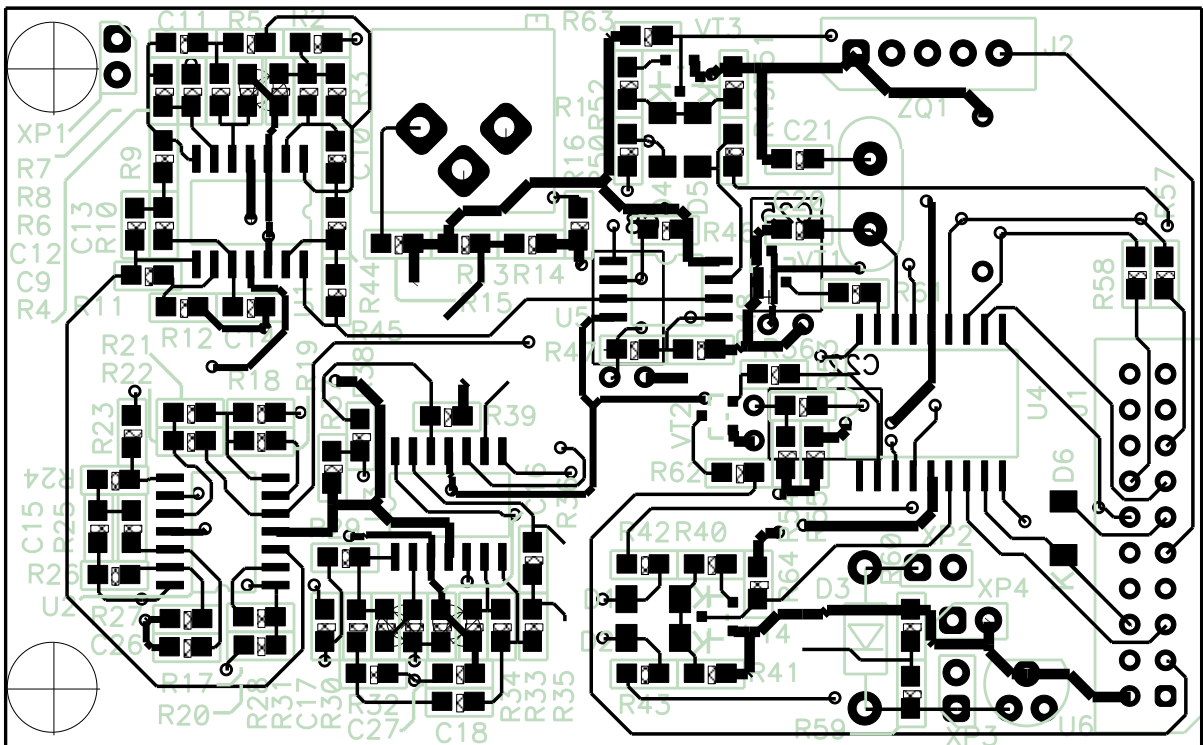
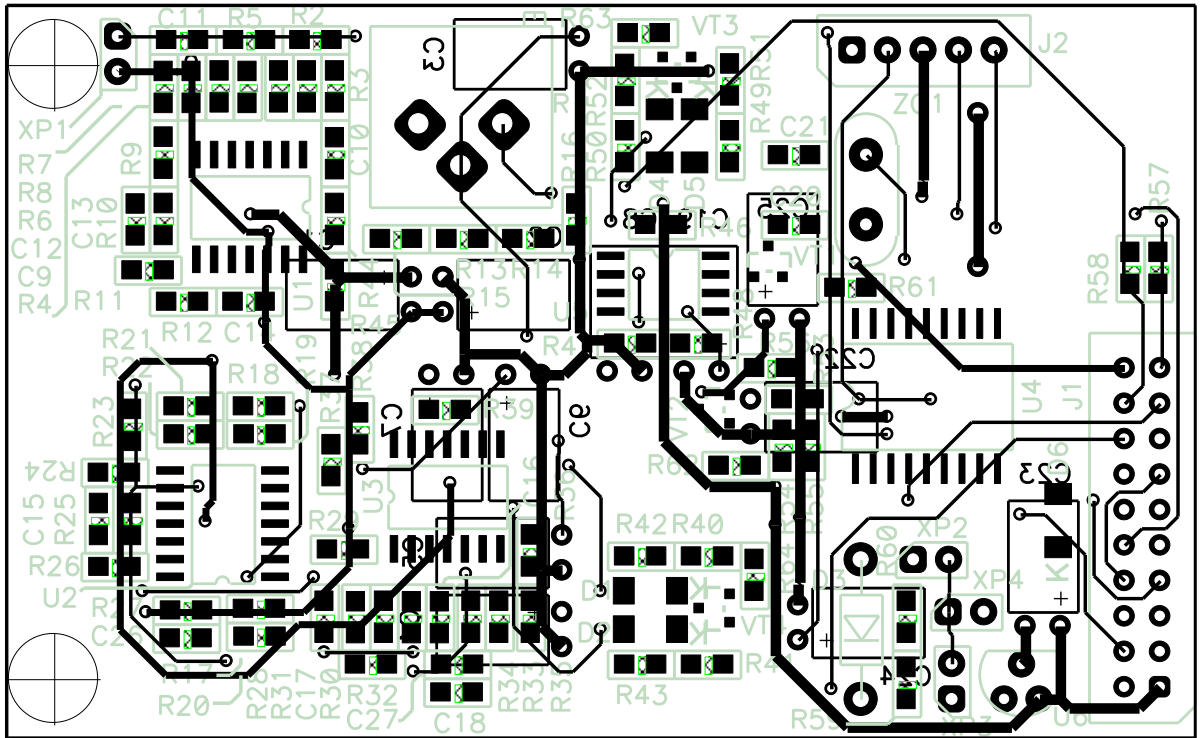


Fig. A1.19 Schema principală a plăcii de comandă



a)



b)

Fig. A1.20 Cablajul imprimat a schemei electrice principale

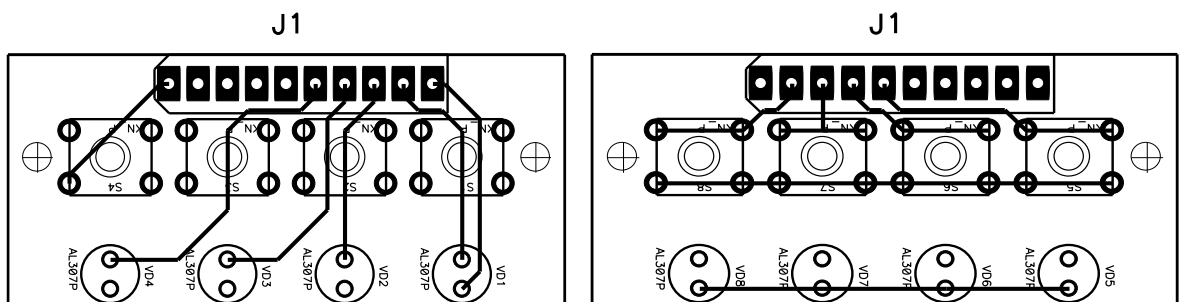


Fig. A.1.21 Cablajul imprimat dublustrat al tastaturii

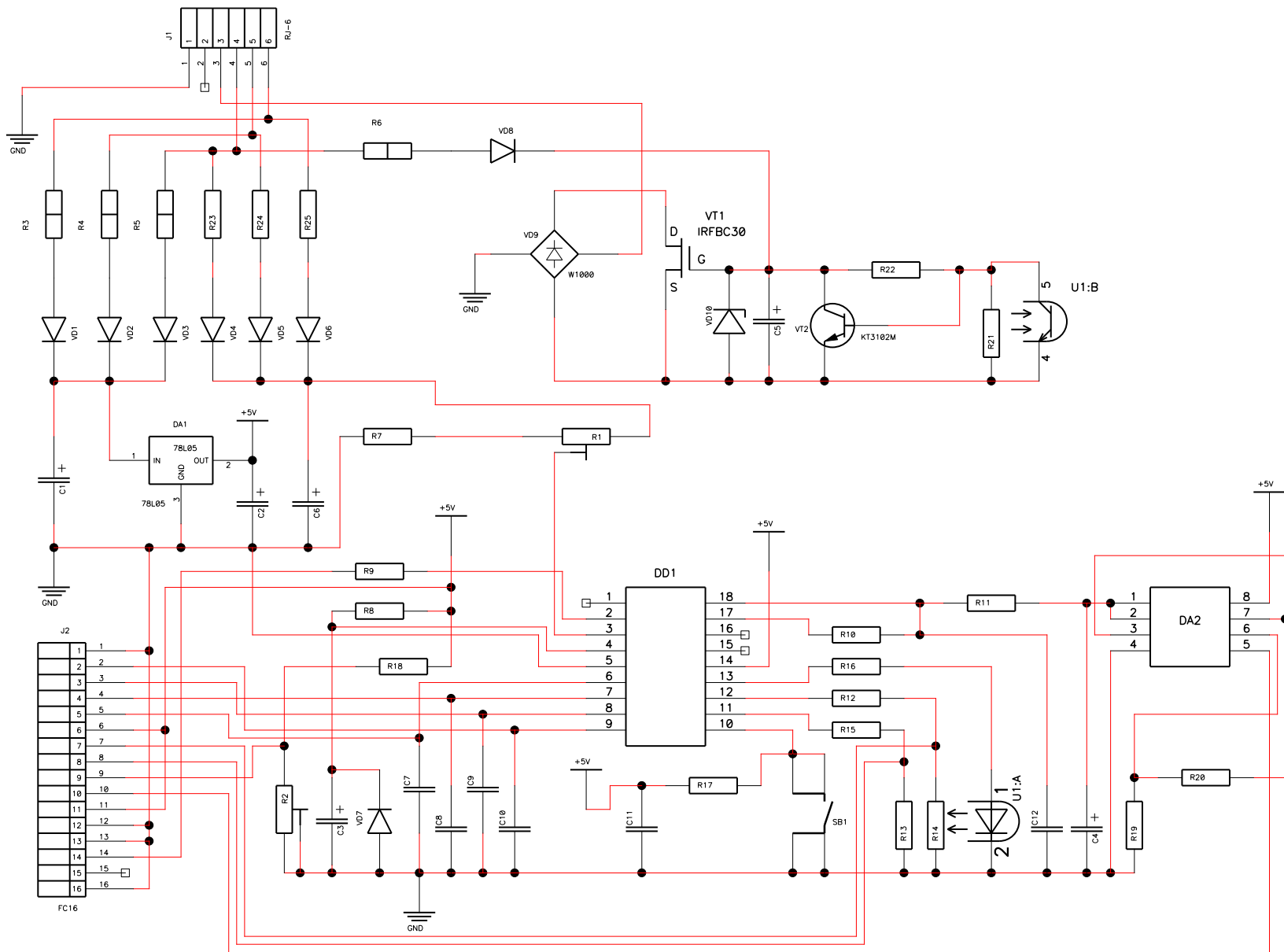


Fig. A.1.22 Schema electrică principală a blocului de dirijare și control a temperaturii pentru sisteme autonome de încălzire.

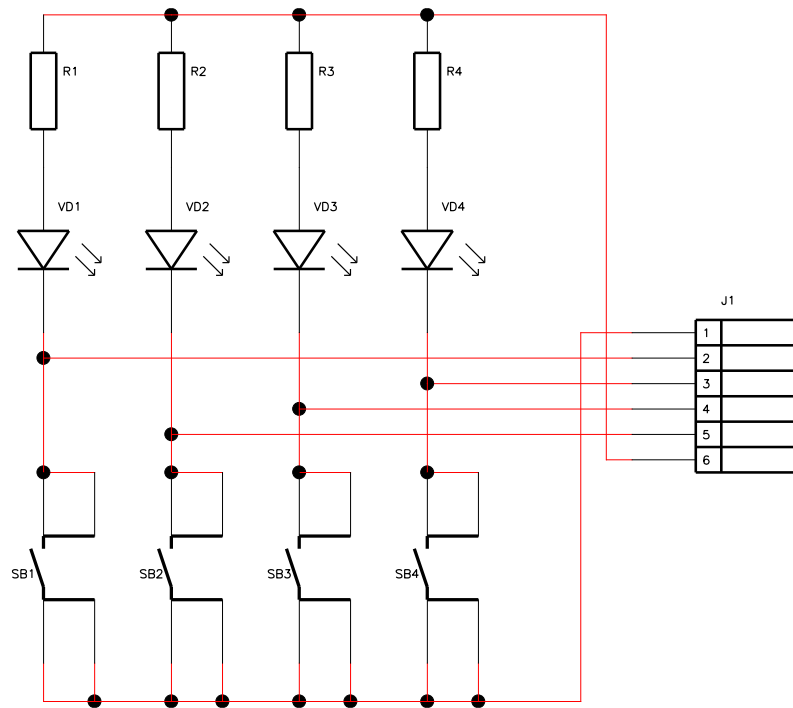


Fig. A.1.23 Schema electrică principală a panoului de comandă.

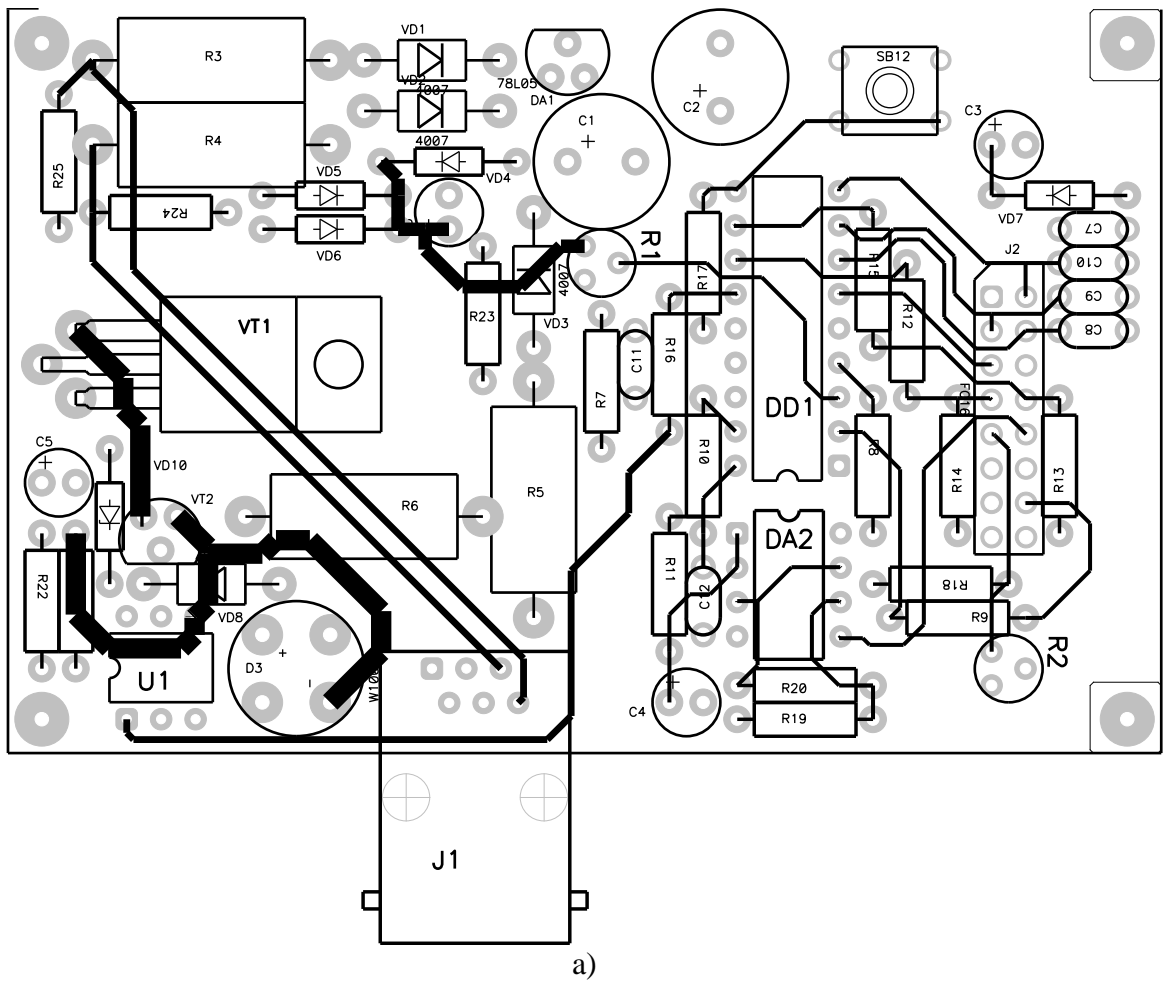




Fig. A.1.24 Cablajul imprimat a plăcii de bază.

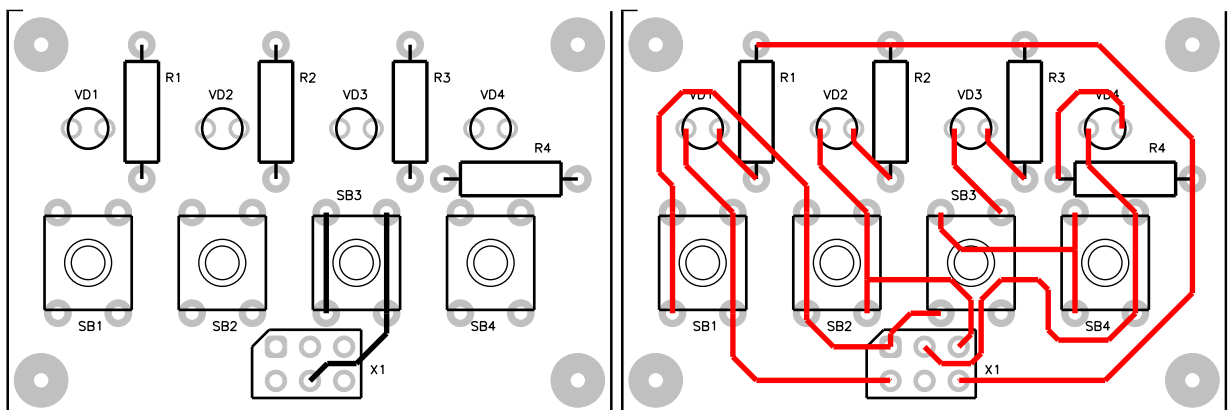


Fig. A.1.25 Cablajul imprimat a plăcii de comandă.

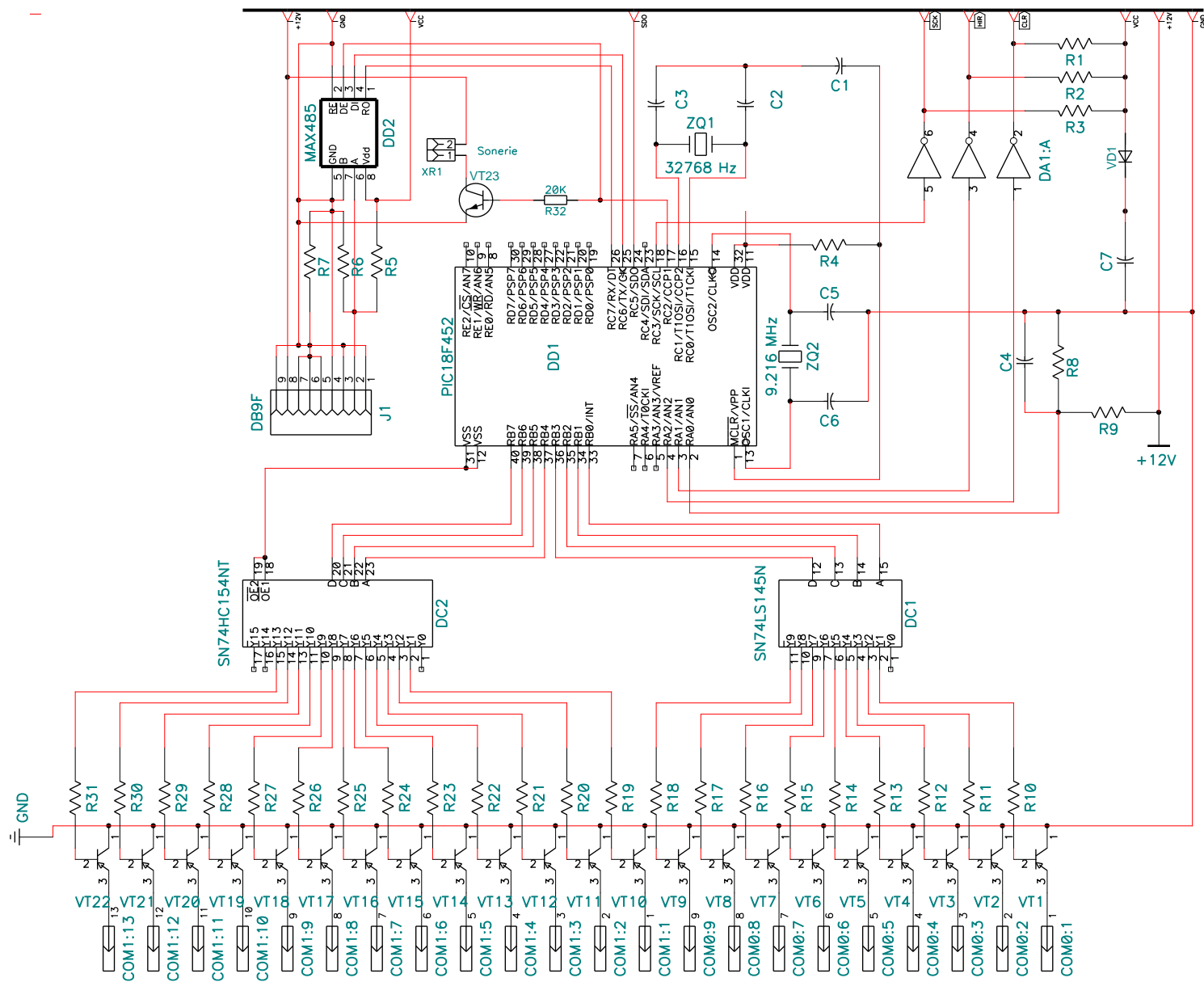


Fig. A.1.26 Fragment a schemei electrice principale, care efectuează selectarea cifrei corespunzătoare de indicat

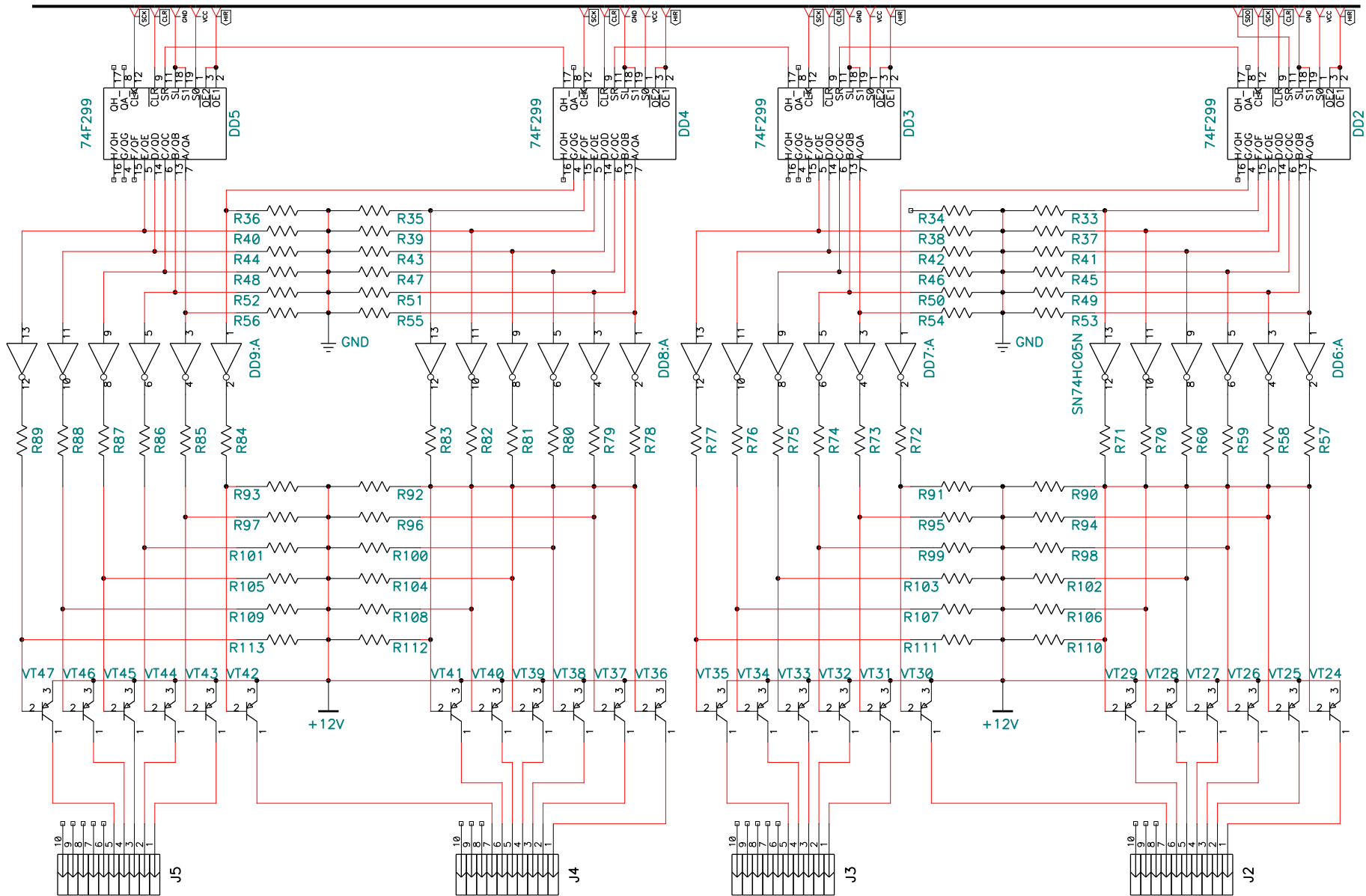


Fig. A.1.27 Schema electrică principală a circuitului de comutare a segmentelor

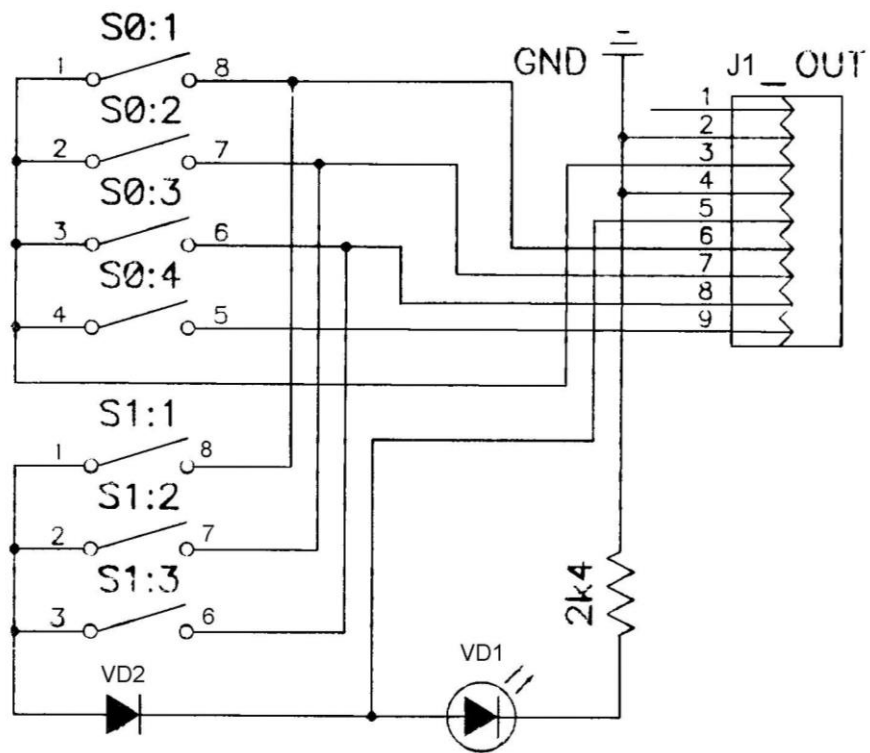


Fig. A.1.28 schema electrică principală a telecomenzii Nr.1

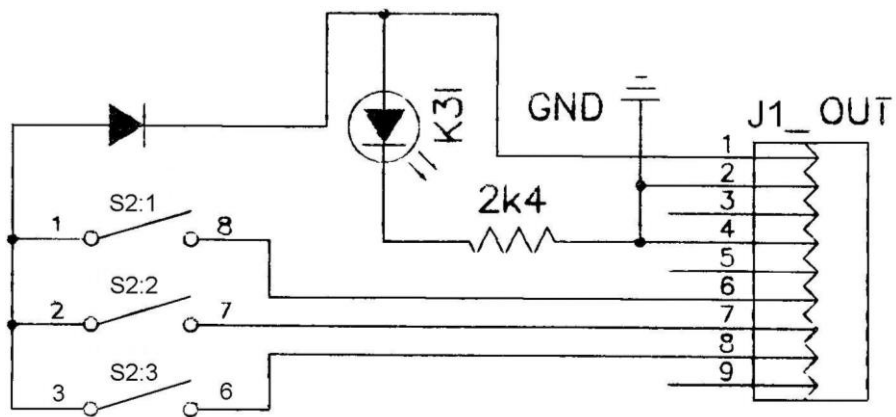


Fig. A.1.29 Schema electrică principală a telecomenzii Nr. 3

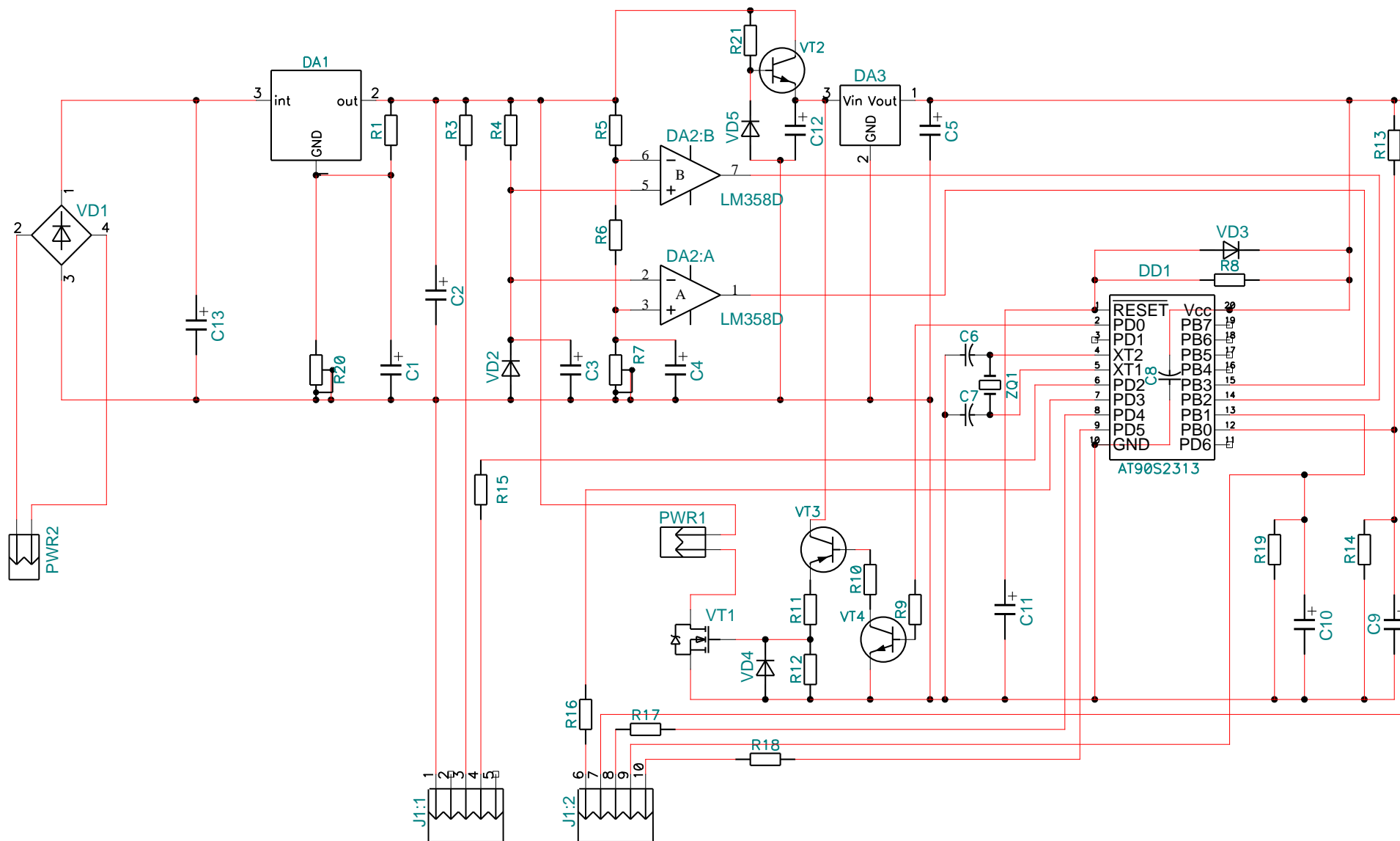


Figura A.1.31 Schema electrică principală a dispozitivului de alimentare a emițătoarelor construite în baza ledurilor supraluminiscente

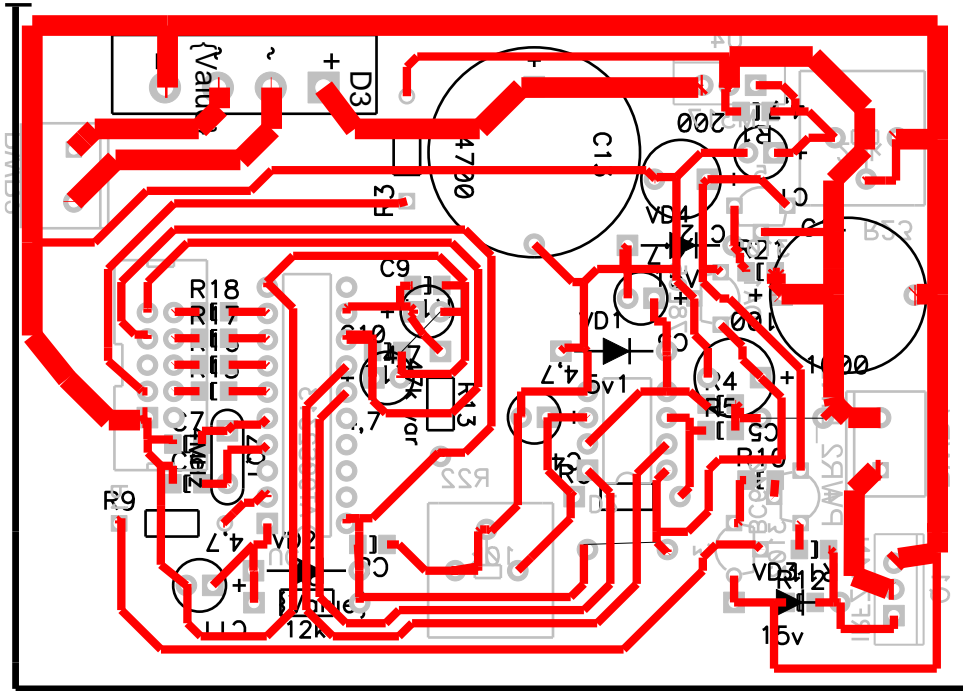


Fig. A.1.32 Cablajul imprimat a schemei electrice principale

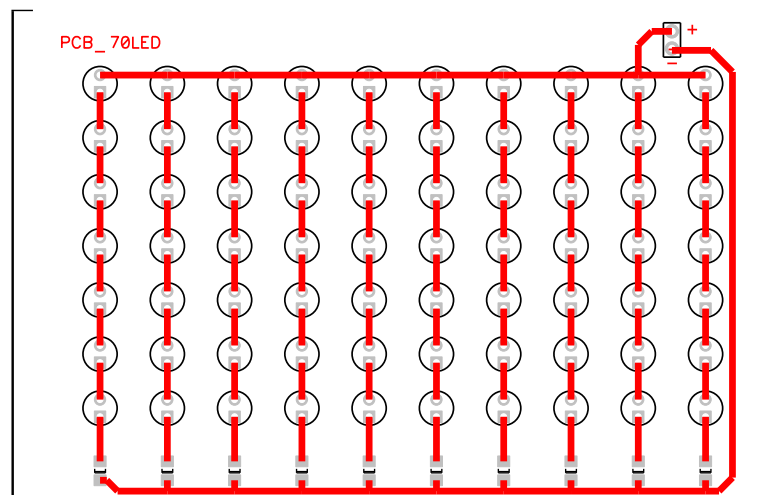


Fig. A.1.33 Cablajul imprimat a emițătorului cu 70 leduri

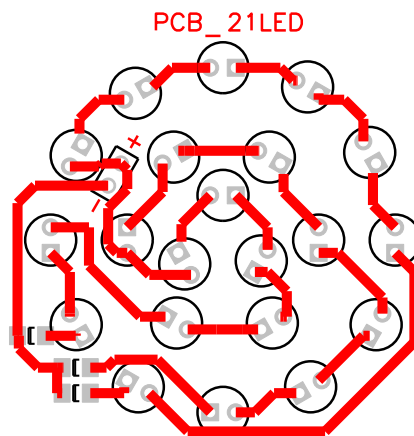


Fig. A.1.34 Cablajul imprimat a emițătorului cu 21 leduri

ANEXA 2 Imaginea exterioară a dispozitivelor elaborate și confecționate.

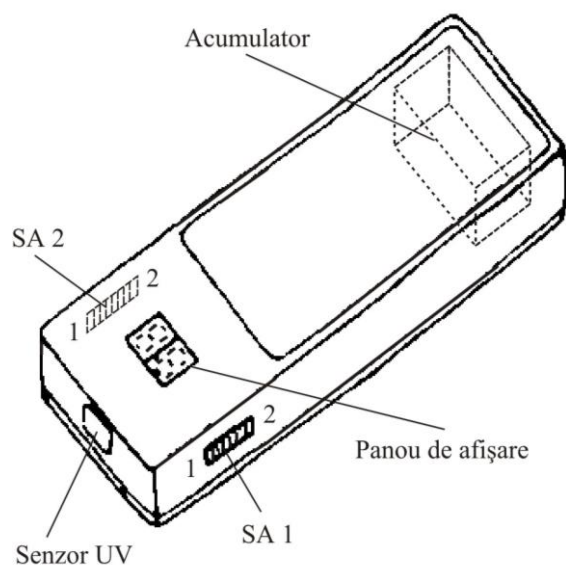


Fig. A.2.1 Aspectul exterior al dispozitivului de înregistrare și indicare a radiației UV

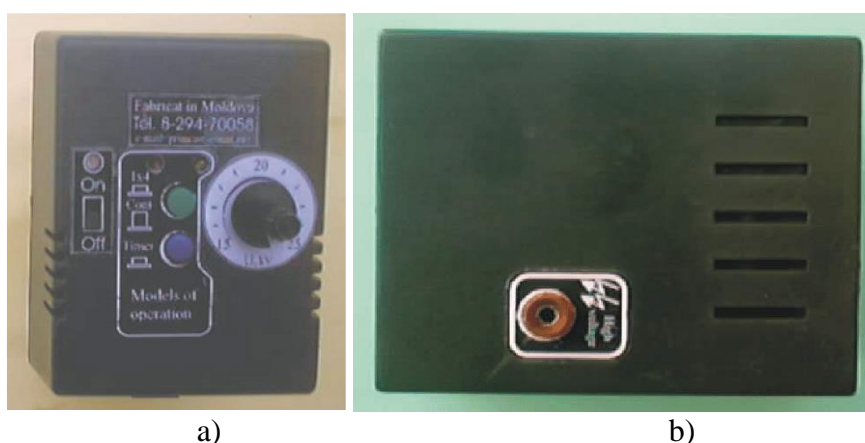


Fig. A.2.2 Blocul de dirijare (a), blocul de multiplicare a tensiunii (b)



Fig. A.2.3 Imaginea exterioară a aeroionizatorului pentru tratament individual și a lustrei efluviale



a)



b)

Fig. A.2.4 Imaginea exterioară a blocului de comandă (a) și a multiplicatorului de tensiune (b).



a)



b)

Fig. A.2.5 Imaginea exterioară a blocului de comandă (a) și a multiplicatorului de tensiune (b).



Fig. A.2.6 Imaginea exterioară a dispozitivului de tratament cuantic Teralaser D



a)



b)

Fig. A.2.7 Imaginea exterioară a dispozitivului Teralaser-MF și a capurilor optice



Fig. A.2.8 Imaginea exterioară a dispozitivului Teralaser-MF modalitatea de conexiune a emițătoarelor



Fig. A.2.9 Imaginea exterioară a dispozitivului de măsurare a turațiilor motoarelor pompelor electrice ermetice și a traductorului de câmp magnetic



Fig. A.2.10 Imaginea exterioară a blocului de dirijare cu temperatura pentru sisteme autonome de încălzire.

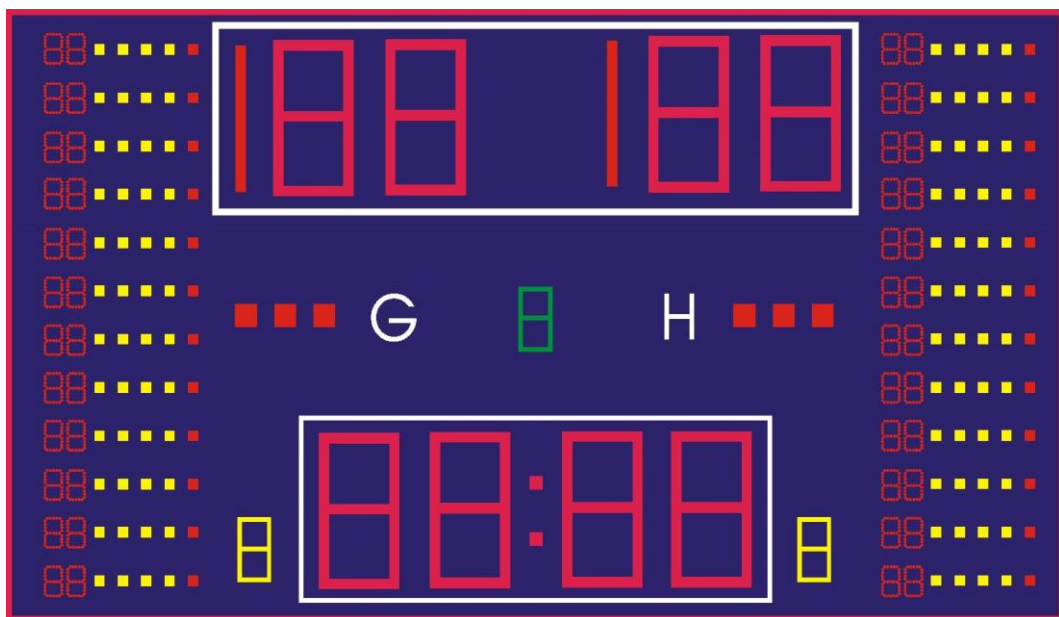


Fig. A.2.11 Imaginea exterioară a panoului de bază.

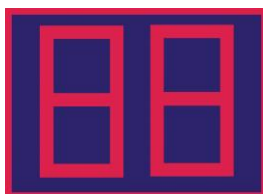


Fig. A.2.12 Imaginea exterioară a panoului de indicare a timpului în atac de 24 s.



Fig. A.2.13 Imaginea exterioară a telecomenzii Nr. 1



Fig. A.2.14 Imaginea exterioară a telecomenzii Nr. 2



Fig. A.2.15 Imaginea exterioară a telecomenzii Nr. 3

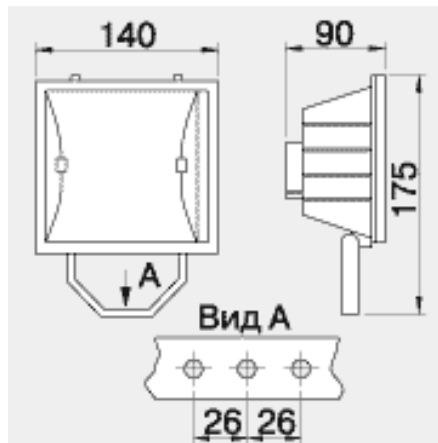


Fig. A.2.16 Imaginea corpului de iluminat pentru emițătorul cu 70 leduri

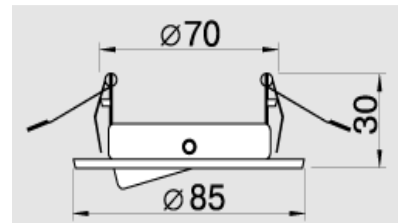


Fig. A.2.17 Imaginea corpului de iluminat pentru emițătorul cu 21 leduri



Fig. A.2.18 Imaginea blocului de alimentare

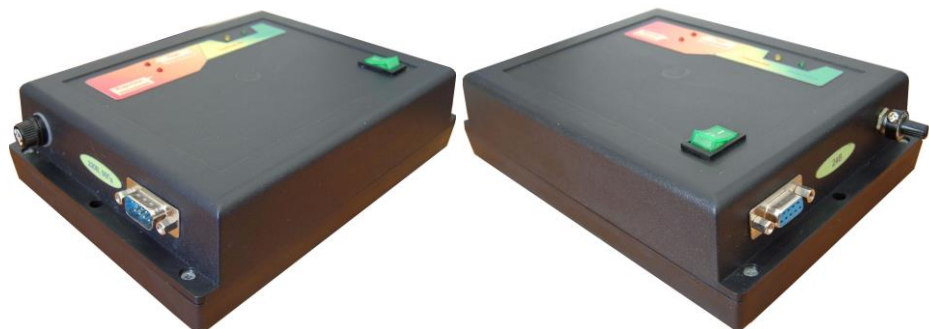


Fig. A.2.19 Imaginea blocului de alimentare, intrările și ieșirile



Fig. A.2.20 Imaginea exterioară a clădirii, consumul pentru iluminare a căreia constituie 50 W



a)



b)

Fig. A.2.21 Imaginea exterioară a două clădiri, consumul pentru iluminare a căroră constituie 15W (a) și 8W (b)

ANEXA 3. Certificate de implementare a elaborărilor tehnico-științifice.





<p>Aprob Business-Incubatorul „ELIRI-INC” S.A Director,</p>	<p>Aprob Universitatea Tehnică a Moldovei Rector UTM, academician al AȘ a RM</p>
	
<p>S. Sircu 2004</p>	<p>I. Bostan 2004</p>
<p>ACT de implementare a elaborării tehnico-științifice „Dispozitiv de măsurare a turațiilor rotorului motorului electric al pompei ermetice”</p>	
<p>Business-Incubatorul „ELIRI-INC” S.A., în persoana Dl. S. Sircu și Laboratorul de Micro-Optoelectronică al Universității Tehnice a Moldovei în persoana prorectorului pentru cercetare științifică V. Dorogan, executorului responsabil V. Secieru și doctorandului E. Munteanu confirmăm, că în cadrul cercetărilor a fost elaborat și confecționat un dispozitiv de măsurare a turațiilor rotorului motorului electric al pompei ermetice.</p> <p>Dispozitivul de măsurare a turațiilor rotorului motorului electric al pompei ermetice a fost implementat și se utilizează în cadrul Business-Incubatorul „ELIRI-INC” S.A.</p>	
<p>Parametrii funcționali de bază sunt:</p>	
<p>Diapazonul de măsurare a turațiilor Precizia măsurărilor Durata unei măsurări Indicarea pe display digital a turațiilor și a parametrilor de calcul Stocare și vizualizare a măsurărilor efectuate Selectare a numărului de perechi de poli Indicarea nivelului de încărcare a acumulatorului pe display Regim autonom de funcționare: Lucrul în regim activ Lucrul în regim de așteptare Capacitatea acumulatorului Încărcător de la rețea 220 V, timpul de încărcare Masa Gabaritele</p>	<p>0 – 3000 rpm 1 % 1 min 20 de valori 1, 2 sau 3 5 ore 14 ore 200 mAH 4 ore 250 g 200x60x25 mm</p>
<p>Din partea Business-Incubatorul „ELIRI-INC” S.A.</p> <p> S. Sircu</p>	<p>Din partea UTM</p> <p> Dr. V. Dorogan V. Secieru E. Munteanu</p>

Fig. A.3.1. Certificat de implementare a rezultatelor tezei la „ELIRI-INC” S.A

Aprob
Institutul de Fizică Aplicată,
Director, membru corespondent al A.Ș.M.

Aprob
Universitatea Tehnică a Moldovei
Rector, academician al A.Ș.M.



L. Culiuc
2008



I. Bostan
2008

ACT

De implementare a elaborării tehnico-științifice „Sistem electronic de dirijare a cuptoarelor de înaltă temperatură”

Institutul de Fizică Aplicată al A.Ș.M. în persoana d-lui director, membru corespondent L. Culiuc, șef Laborator Structuri Semiconductoare cu dimensionalitate redusă, dr. Hab. V. Ursachi, cercetător științific principal dr. Hab. E. Rusu, și Laboratorul de Micro-Optoelectronică a Universității Tehnice a Moldovei în persoana prorectorului pentru cercetare științifică prof. V. Dorogan, executor responsabil V. Secieru, colaborator științific E. Munteanu, doctorand Ș. Balica, confirmăm că în cadrul cercetărilor efectuate în cadrul Laboratorului de Micro-Optoelectronică a fost elaborat un sistem electronic de dirijare cu temperatura în încălzitor de înaltă temperatură, implementat la Institutul de Fizică Aplicată, Laborator Structuri Semiconductoare cu dimensionalitate redusă.

Sistemul de dirijare a cuptoarelor de înaltă temperatură este utilizat pentru cercetări tehnologice în procesul de obținere a structurilor semiconductoare și materialelor oxidice.

Originalitatea soluției utilizate constă în separarea circuitului de comandă de circuitul de putere. Scopul urmărit este reducerea influenței reciproce a acestor două circuite, ținând cont ca circuitele se alimentează separat, cel de putere de la un bloc de alimentare propriu, iar circuitul de comandă – direct de la portul USB al calculatorului.

Parametri funcționali de bază ai sistemului sunt:

Tensiunea de alimentare	220 V, 50Hz
Intervalul temperaturilor de lucru	600-1100 C
Monitorizarea temperaturii curente	
Programarea prealabilă a caracteristicii termice	
Setarea puterii în regim de încălzire	
Setarea puterii de menținerea a temperaturii	
Setarea temperaturii în funcție de regimul de lucru	

Din partea Institutul de Fizică Aplicată

V. Ursachi

E. Rusu

Din partea UTM

V. Dorogan

V. Secieru

E. Munteanu

Ș. Balica

Fig. A.3.2. Certificat de implementare a rezultatelor tezei la Institutului de Fizică Aplicată

Aprob
Clubul Sportiv „IUNOSTI”
Director,

Aprob
Universitatea Tehnică a Moldovei
Rector UTM, academician al AȘ a RM



V. Șleagun

2004



I. Bostan

2004

ACT

de implementare a elaborării tehnico-științifice
„Panou de indicare pentru jocul Baschet”

Clubul Sportiv „IUNOSTI” în persoana Dr. V. Șleagun și Laboratorul de Micro-Optoelectronică al Universității Tehnice a Moldovei în persoana proectorului pentru cercetări științifice V. Dorogan, colaborator științific S. Vieru, executor responsabil V. Secrieru și doctorand E. Munteanu confirmăm, că în cadrul cercetărilor a fost elaborată și confecționat un nou panou de indicare pentru jocul de Baschet.

Panoul de indicare pentru jocul de Baschet a fost implementat și se utilizează în cadrul Clubului Sportiv „IUNOSTI”.

Parametrii funcționali de bază a panoului de indicare pentru jocul de Baschet sunt:

- Scorul (până la 199);
- Numărul reprizei de la 1 la 4 și E repriza suplimentară;
- Timpul de joc cu enumerare inversă, posibilitatea opririi în timpul pauzelor, fixarea inițială de la 1 la 60 min, la sfârșitul timpului de jos - semnal sonor, cu durata 2-3 s;
- Timpul de joc în ultimul minut al jocului (în repriza 4 și E) se indică cu precizia de zecimi de secundă;
- În timpul „timeout” se indică 60 și 30 s ce se selectează, cu 10 s înainte și la sfârșitul „timeout” se emite un semnal sonor (0,5-1s);
- Jucătorii 4-15, cantitatea de faulturi comise 1-5;
- Numărul de faulturi de echipă de la 1 la 5;
- Numărul de pauze luate de echipă de la 1 la 3;
- Panoul secundar indică 24 la 0 s cu un semnal sonor (1-0,5). E prevăzută posibilitatea de schimbare operativă a timpului de la 0 la 60 s.
- Gabaritele panoului principal - 270x150x10 cm;
- Gabaritele panoului secundar - 55x40x7 cm;
- Alimentarea de la rețea - 220 V;
- Puterea de consum - 120 W;

Dirijarea se efectuează cu ajutorul a trei pulturi de comandă, comunicarea între pulturile de comandă și panoul de bază are loc cu ajutorul unei linii fizice. Telecomanda I – dirijează cu timpul de joc, numărul și durata pauzelor de joc și numărul de „timeouturi”. Telecomanda II – dirijează cu scorul jocului, numărul de faulturi personale și de echipă, enumerarea reprizelor. Telecomanda III – dă posibilitatea de pornire/oprire a panoului de 24 s, oprire și pornire a timpului în variantele cu posibilitatea de reset a timpului sau fără reset.

Din partea Clubul Sportiv „IUNOSTI”



V. Șleagun

Din partea UTM

Dr. V. Dorogan

S. Vieru

V. Secrieru

E. Munteanu

Fig. A.3.3. Certificat de implementare a rezultatelor tezei la clubul sportiv “IUNOSTI”

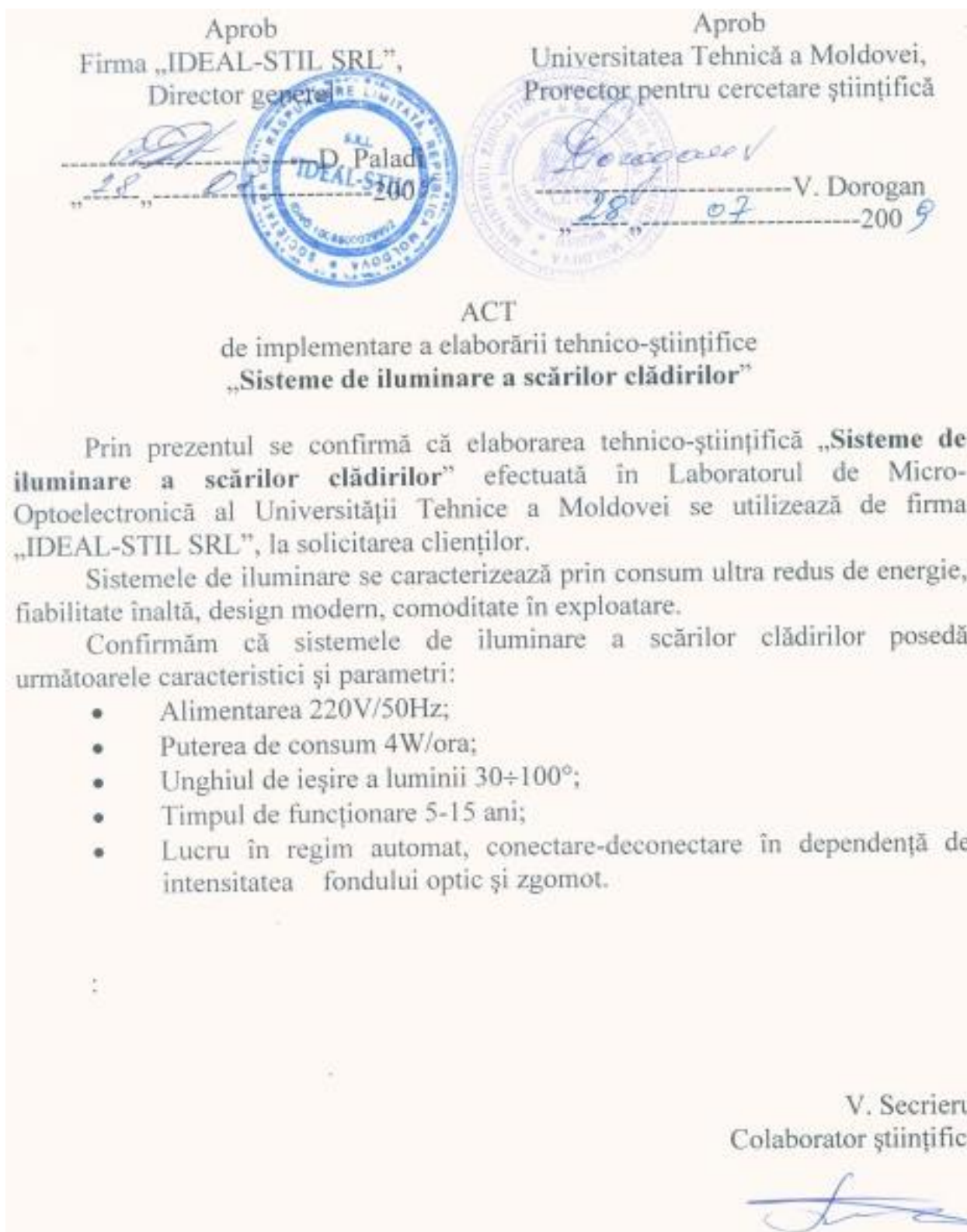


Fig. A.3.4. Certificat de implementare a rezultatelor tezei la firma “IDEAL-STIL SRL”

Aprob
SC „ECOLUX” SRL
Director,



M. Zagorodnii

Aprob
Universitatea Tehnică a Moldovei
Rector UTM, academician al AȘ a RM



23 "

ACT
de implementare a elaborării tehnico-științifice
„Sistem de iluminare supraeconom, în baza diodelor electroluminiscente supraluminiscente”

SC „ECOLUX” SRL, în persoana Dr. M. Zagorodnii și Laboratorul de Micro-Optoelectronică al Universității Tehnice a Moldovei în persoana prorectorului pentru cercetări științifice V. Dorogan, executor responsabil V. Secrieru, doctorand E. Munteanu, studenții Ș. Balica și A. Cojocaru confirmăm, că în cadrul cercetărilor a fost elaborat și confecționat un sistem de iluminare supraeconom, în baza diodelor electroluminiscente supraluminiscente.

Sistemul de iluminare supraeconom, în baza diodelor electroluminiscente a fost implementat și se utilizează în cadrul SC „ECOLUX” SRL.

Parametrii funcționali de bază sunt:

Tensiunea de alimentare	220 V, 50 Hz
Tensiunea de alimentare a emițătoarelor	24 V
Consumul unui emițător	0,5 ÷ 2,5 W
Luminozitatea	140 ÷ 580 cd
Protecția de supratensiune	
Protecția de scurtcircuit	
Regim zi/noapte	
Reglarea sensibilitații	
Masa	3 kg
Gabaritele	250x200x90 mm

Din partea „ECOLUX”



M. Zagorodnii

Din partea UTM



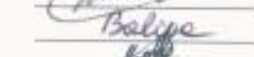







Dr. V. Dorogan
V. Secrieru
E. Munteanu
Ș. Balica
A. Cojocaru

Fig. A.3.5. Certificat de implementare a rezultatelor tezei la SC “ECOLUX” SRL, 2005.

APROB
Rector UTM
Acad.I.Bostan



ACT de IMPLEMENTARE
nr.2 din 21 septembrie 2014

Prin prezentul se confirmă că echipa de cercetători a Laboratorului Micro-Optoelectronică în componența dr.hab.prof.univ. V.Dorogan, cer. șt. V.Secrieru, cer.șt. E.Munteanu, cer.șt. S.Vieru, dr.cerc.conf. T.Vieru a elaborat un sistem de iluminare ultraeconomă în baza diodelor luminiscente.

Sistemul a fost implementat în căminul nr.12 și se implementează în căminul nr.2 ale UTM.

Caracteristicile tehnico-economice ale sistemului de iluminare:

- puterea de consum - 6 W
- puterea optică emisă este comparabilă cu un bec incandescent de 100 W sau un bec econom de 20 W
- timpul de exploatare - 50 mii ore
- preț de producere - circa 200 Lei
- economia de energie electrică pentru sistem depășește 26 mii kW/an
- efect economic - cheltuielile de producere se răscumpără în jumătate de an datorită eficienței energetice ridicate.

Executorii:

dr. hab. prof.univ. V.Dorogan

cer. șt. V.Secrieru

cer.șt. E.Munteanu

cer.șt. S.Vieru

dr.cerc.conf. T.Vieru

Beneficiar:

Intendent căminul nr.12

I.Șcheau

Fig. A.3.6. Certificat de implementare a rezultatelor tezei la UTM, căminul 12.

Aprob
SC „ECOLUX” SRL
Director



Aprob
Universitatea Tehnică a Moldovei
Rector UTM, academician al AȘ a RM



ACT
de implementare a elaborării tehnico-științifice
„Emitătoare economice pentru interior de diferită putere,
în baza diodelor electroluminiscente supraluminiscente”

SC „ECOLUX” SRL, în persoana directorului M. Zagorodnii și Laboratorul de Micro-Optoelectronică al Universității Tehnice a Moldovei în persoana prorectorului pentru cercetări științifice V. Dorogan, executor responsabil V. Secrieru, E. Munteanu, T. Vieru, St. Vieru confirmăm, că în cadrul cercetărilor au fost elaborate și confecționate două tipuri de felinare supraeconomice, în baza diodelor electroluminiscente supraluminiscente.

Felinarele au fost implementate și se utilizează în cadrul SC „ECOLUX” SRL.

Parametrii funcționali de bază sunt:

Tensiunea de alimentare	220 V, 50 Hz
Tensiunea de alimentare a emițătoarelor	310 V, continuu
Consumul emițător tip I	6 W
Curent stabilizat prin circuitul LED tip I	17 mA
Consumul emițător tip II	84W
Curent stabilizat prin circuitul LED tip II	330 mA
Luminozitatea emițător tip I	845 Lm
Luminozitatea emițător tip II	11600 Lm
Timp de funcționare minimal	5 ani

Din partea SC „ECOLUX” SRL


V.Bruma

Din partea UTM








Dr. V. Dorogan

V. Secrieru

E. Munteanu

T. Vieru

St. Vieru

Fig. A.3.7. Certificat de implementare a rezultatelor tezei la SC “ECOLUX” SRL, 2015.

DECLARAȚIA PRIVIND ASUMAREA RĂSPUNDERII

Subsemnatul Secieru Vitalie, declar pe propria mea răspundere că materialele prezentate în teza de doctor se referă la propriile activități și realizări, în caz contrar urmînd să suport consecințele, în conformitate cu legislația în vigoare.

CURRICULUM VITAE		
Numele:	Secieru	
Prenumele:	Vitalie	
Data și locul nașterii:	11 septembrie 1975, rn. Bassarabeasca, s. Abaclia, Republica Moldova	
Grad științific:	Inginer	
Titlu didactic:	Colaborator științific	
STUDII:		
Superioare:	Universitatea Tehnică a Moldovei, 1994-1999, specialitatea Microelectronică, calificare în electronică medicală.	
Doctorat:	Doctorand, studii cu frecvență redusă, Universitatea Tehnică a Moldovei, 2000-2003, specialitatea 232.01 – “Sisteme de conducere, calculatoare și rețele informaționale”	
Domenii de interes științific:	Sisteme încorporate; Electronica de putere; Electronică medicală; Elaborarea și confecționarea dispozitivelor electronice.	
Activitatea profesională: 2000 - prezent	Colaborator științific în laboratorul de Opto-Microelectronică a Universității Tehnice a Moldovei.	
Participări în proiecte științifice naționale și internaționale:	Participat a patru proiecte instituționale și un proiect bilateral Moldo-Ucrainean.	
Participări la foruri științifice:	Participări la 19 foruri științifice din Republica Moldova și străinătate.	
Publicații:	Au fost publicate 128 de lucrări științifice în domeniul materialelor semiconductoare, sistemelor integrate și elaborării și confecționării dispozitivelor electronice.	
Premii, mențiuni, Distincții:	Diplome de gradul I – 1, de gradul II – 1, diplome de excelență – 15; Cupe – 6; Medalii de aur – 29, de argint – 17, de bronz – 5; Laureat al premiul municipal pentru tineret în domeniul științei, tehnicii, literaturii și artelor pentru anul 2004, 2009.	
Cunoașterea limbilor:	Română, engleză, rusă.	
Date de contact:	str. Studenților 5, căm. 10, MD 2045, Chișinău, Republica Moldova tel.: +37367310058 email: primcast@mail.ru	