

MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI CERCETĂRII
UNIVERSITATEA PETROL-GAZE DIN PLOIEȘTI
DEPARTAMENTUL AUTOMATICĂ, CALCULATOARE ȘI ELECTRONICĂ

Teză de doctorat

CONTRIBUȚII LA DEZVOLTAREA DE SISTEME AUTOMATE CU APLICABILITATE ÎN TERAPIA MEDICALĂ

CONDUCĂTOR ȘTIINȚIFIC:
Prof. dr. ing. Nicolae PARASCHIV

AUTOR:
Ing. Stefan-Radu BALA

Ploiești, 2015

Cuvinte cheie: sistem cu reglare automată, terapie medicală, electroencefalografie, potențial evocat, homeostază, holism, reduționism.

Rezumat

Așa cum rezultă din titlu („*CONTRIBUȚII LA DEZVOLTAREA DE SISTEME AUTOMATE CU APLICABILITATE ÎN TERAPIA MEDICALĂ*”) autorul își propune în cadrul prezentei teze de doctorat să dezvolte un sistem cu reglare automată (SRA) destinat terapiei medicale. Dezvoltarea acestui sistem se va face ținând cont de câteva principii de bază și anume:

- ✓ din punct de vedere al gradului de invazivitate asupra pacientului sistemul trebuie să fie noninvaziv;
- ✓ sistemul de reglare automată urmează să includă pacientul în procesul de reglare, dar va presupune și implicarea activă a acestuia în actul terapeutic medical;
- ✓ actul terapeutic va avea în acest caz ca destinație refacerea echilibrului funcțional al organismului uman atunci când suferința acestuia nu are o cauză de natură organică;
- ✓ sistemul va fi dezvoltat folosind ingineria sistemelor ca suport teoretic și ingineria medicală (prin subdomeniile electronică și informatică medicală) în realizarea practică.

Pentru realizarea acestui obiectiv, autorul abordează în capitolul 1 principalele laturi ale practicii medicale și ale interacțiunii dintre acestea din punct de vedere al teoriei sistemelor cu scopul evaluării actului medical dintr-o perspectivă inginerescă. Acest mod de abordare este util atât pentru medici, cât și pentru ingineri în special în dezvoltarea de echipamente specifice ingineriei medicale.

Pentru a lămurii rolul și importanța ingineriei în medicină este definită ingineria medicală și sunt prezentate subdomeniile acesteia. Tot cu aspect clarificator sunt definite gradele de invazivitate asupra organismului uman al diferitelor metode terapeutice.

Capitolul 2 conține o clasificare și descriere a sistemelor automate artificiale realizate cu ajutorul ingineriei medicale și care au aplicabilitate în terapia medicală. Alegerea sistemelor

aparține autorului, prin considerarea importanței ridicate a acestora în desfășurarea procesului terapeutic.

Debutul efectiv al dezvoltării SRA ce face obiectul prezentei teze de doctorat se face în capitolul 3. După descrierea și clasificarea activității electrice cerebrale se trece la proiectarea, construirea și testarea unui echipament electroencefalografic (EEG) cu anumite particularități ce va fi utilizat pentru achiziția semnalelor necesare funcționării SRA.

Proiectarea echipamentului electroencefalografic a fost realizată prin aplicarea metodelor specifice ingineriei electronice medicale. Vor fi parcurse toate etapele specifice proiectării de la cerințe până la integrarea subsistemelor componente într-o structură completă funcțională. Subsistemele proiectate constau într-un condiționator de semnal analogic electroencefalografic, un subsistem de alimentare și izolare galvanică ce respectă normele de securitate pentru utilizarea echipamentelor medicale și un sistem numeric ce conține un convertor analogic - numeric, unul numeric – analogic la care se adaugă o interfață USB de comunicare cu regulatorul aferent SRA.

În încheierea capitolului 3 precum și în anexele 2 și 3 sunt prezentate detaliile constructive ale echipamentului EEG precum și testele de verificare a parametrilor de funcționare a acestuia conform cerințelor de proiectare.

Capitolul 4 conține dezvoltarea unui sistem automat destinat terapiei prin ajustarea parametrilor de reglare homeostatică a organismului uman. Sunt definiți și explicați termenii de homeostază și ai celor asociați reglajului homeostatic din perspectiva teoriei sistemelor. Sunt identificate cauzele ieșirii din echilibrul homeostatic și este selectată cauza determinantă ce va face obiectul acțiunii SRA din această teză de doctorat și care va avea drept scop restaurarea echilibrului homeostatic prin anularea acestei cauze.

Odată fixat obiectivul SRA se trece la dezvoltarea acestuia pe baza unor principii, tipare și a unei proceduri concepute de către autor. În SRA este integrat echipamentul EEG dezvoltat în capitolul 3. În ceea ce privește regulatorul acesta este implementat software, programul elaborat în Matlab® fiind descris la sfârșitul capitolului 4.

Datele experimentale obținute cu ajutorul SRA dezvoltat în capitolul 4 sunt atât de natură obiectivă obținute în timpul procesului de testare cu ajutorul SRA cât și de natură

subiectivă prin răspunsurile la interogările adresate celor 25 de subiecți umani implicați în acest experiment. Datele vor fi analizate după criteriile stabilite de autor sub forma unor rezultate corelate așteptate sau neașteptate și a unor rezultate necorelate raportate la natura obiectivă versus subiectivă a acestora.

Prezentarea datelor este realizată prin ilustrarea sugestivă sub formă de histograme. Pentru a evita complicațiile impuse de un eventual proces de etalonare metrologică, mărimile înregistrate vor fi normalizate printr-un proces de scalare cu valoarea maximă ce vor duce la rezultate corecte și suficiente pentru sistemul automat dezvoltat datorită metodei aleasă de către autor.

Teza de doctorat prezintă în încheiere capitolul 5 care pe lângă concluziile generale conține și o sinteză a contribuțiilor împreună cu posibile direcții de continuare a cercetărilor.

Conținut

Mulțumiri	I
Cuprins	II
Borderou figuri	VII
Borderou tabele	XV
INTRODUCERE.....	pag. 1
Capitolul 1. Aplicații ale ingineriei în medicină.....	pag. 4
1.1 Componentele practicii medicale.....	pag. 5
1.2 Caracterizarea din punct de vedere sistemic a laturilor practicii medicale.....	pag. 9
1.3 Integrarea sistemică a activităților de practică medicală cu procesele fiziologice specifice organismului uman.....	pag. 16
1.4 Ingineria medicală suport al practicilor medicale.....	pag. 22
1.4.1 Subdomeniile ingineriei medicale.....	pag. 23
1.4.2 Instituții specializate în formarea de specialiști în inginerie medical.....	pag. 27
1.5 Concluzii parțiale.....	pag. 28
Capitolul 2. Stadiul actual de dezvoltare al sistemelor automate artificiale utilizate în terapia medicală.....	pag. 30
2.1 Metode, proceduri și instrumente specifice terapiei medicale.....	pag. 31
2.1.1 Metode și proceduri terapeutice.....	pag. 31
2.1.2 Complementaritatea dispozitivelor medicale.....	pag. 33
2.2 Sisteme automate utilizate pentru asistarea și corectarea funcțiilor fiziologice.....	pag. 36
2.2.1 Stimulatorul cardiac artificial.....	pag. 36
2.2.2 Defibrilatorul cardiac.....	pag. 42
2.2.3 Dispozitivul pentru (hemo)dializă (rinichiul artificial).....	pag. 46
2.2.4 Pancreasul artificial.....	pag. 50
2.2.5 Pompa de perfuzie.....	pag. 55
2.3 Sisteme automate utilizate în protezare.....	pag. 59

2.3.1	Proteze robotizate.....	pag. 59
2.3.2	Implantul cohlear.....	pag. 62
2.4	Sisteme automate utilizate în procedurile chirurgicale.....	pag. 64
2.5	Sisteme automate utilizate în terapia prin biofeedback.....	pag. 69
2.5.1	Trăsăturile terapiei prin biofeedback.....	pag. 69
2.5.2	Sisteme automate dedicate ariilor specifice biofeedback-ului.....	pag. 72
2.6	Concluzii parțiale.....	pag. 77
Capitolul 3.	Contribuții la dezvoltarea unui echipament pentru înregistrarea activității electrice a creierului.....	pag. 80
3.1	Activitatea electrică a creierului.....	pag. 80
3.1.1	Clasificarea activităților electrice ale creierului în funcție de distribuția amplitudinii în domeniul frecvență.....	pag. 85
3.1.1.1	Activitatea electrică delta.....	pag. 85
3.1.1.2	Activitatea electrică teta.....	pag. 87
3.1.1.3	Activitatea electrică alfa.....	pag. 87
3.1.1.4	Activitatea electrică beta.....	pag. 88
3.1.1.5	Activitatea electrică gama.....	pag. 89
3.1.2	Clasificarea din perspectiva relației cauză – efect a activităților electrice ale creierului.....	pag. 90
3.1.2.1	Activitatea spontană a creierului.....	pag. 91
3.1.2.2	Activitatea creierului de răspuns la stimulii externi (potențialele evocate).....	pag. 91
3.2	Contribuții la dezvoltarea unui echipament electroencefalografic personalizat cu componente specifice stimulării acustice.....	pag. 92
3.2.1	Structura și specificațiile echipamentului.....	pag. 92
3.2.2	Proiectarea secțiunii de condiționare a semnalului.....	pag. 98
3.2.2.1	Amplificatorul de instrumentație.....	pag. 102
3.2.2.2	Circuitele responsabile de eliminarea zgomotului din semnalul de intrare.....	pag. 109
3.2.2.3	Schemă alternativă pentru condiționatorul de semnal.....	pag. 110

3.2.3	Alegerea și programarea modului de conversie multiplă (CODEC).....	pag. 114
3.2.4	Subsistemul de alimentare a echipamentului EEG.....	pag. 119
3.2.4.1	Secțiunea de stabilizare a subsistemului de alimentare.....	pag. 120
3.2.4.2	Secțiunea de izolație galvanică.....	pag. 122
3.2.5	Integrarea subsistemelor și considerente constructive.....	pag. 125
3.2.6	Testarea funcționalității echipamentului dezvoltat.....	pag. 129
3.3	Concluzii parțiale.....	pag. 138
Capitolul 4.	Contribuții la dezvoltarea unui sistem automat destinat terapiei prin ajustarea parametrilor reglării homeostatice umane.....	pag. 140
4.1	Caracterizarea stării de echilibru homeostatic.....	pag. 140
4.1.1	Definirea homeostazei.....	pag. 142
4.1.2	Interpretarea procesului de reglare homeostatică din perspectiva teoriei sistemelor.....	pag. 144
4.2	Contribuții privind stabilirea unor tipare și proceduri de testare pentru potențialele spontane și evocate.....	pag. 150
4.3	Contribuții la dezvoltarea unui sistem automat destinat reducerii dezechilibrului homeostatic prin utilizarea stimulării acustice binaurale.....	pag. 162
4.3.1	Prezentarea sistemului de reglare automată.....	pag. 162
4.3.2	Determinarea parametrilor semnalului acustic stimulator.....	pag. 169
4.3.3	Algoritmul de calcul a frecvenței corespunzătoare maximului amplitudinii spectrale specific activității electrice a creierului spontan și evocate.....	pag. 176
4.3.4	Implementarea în Matlab® a regulatorului.....	pag. 191
4.3.5	Realizarea programului Arduino utilizat pentru detecția ritmului sinusal cardiac.....	pag. 197
4.4	Prezentarea rezultatelor implementării sistemului automat dezvoltat.....	pag. 205
4.4.1	Descrierea stimulilor acustici.....	pag. 205
4.4.2	Procedura de stimulare acustică binaurală.....	pag. 207
4.4.3	Componentele principale ale chestionarului de evaluare.....	pag. 209

4.4.4	Interpretarea rezultatelor experimentale.....	pag. 211
4.4.5	Corelarea potențialelor evocate cu celelalte rezultate ale măsurărilor.....	pag. 220
4.5	Concluzii parțiale.....	pag. 228
Capitolul 5.	Concluzii, contribuții și direcții de continuare a cercetărilor.....	pag. 230
5.1	Concluzii generale.....	pag. 230
5.2	Sinteză a contribuțiilor originale.....	pag. 232
5.3	Direcții posibile de continuare a cercetărilor.....	pag. 233
Bibliografie.....		pag. 235
Webografie.....		pag. 243
Anexe.....		pag. 247
Anexa 1.	Caracteristici electrice ale componentelor utilizate în echipamentul electroencefalografic.....	pag. 248
Anexa 2.	Capturi de ecran din timpul testelor de funcționare ale echipamentului electroencefalografic realizate cu Visual Analyser.....	pag. 252
Anexa 3.	Imagini ale detaliilor constructive ale echipamentului EEG.....	pag. 283
Anexa 4.	Secvențe de programe utilizate pentru realizarea SRA.....	pag. 296
Anexa 5.	Chestionar de evaluare a subiecților supuși experimentului.....	pag. 299

Borderou figuri

Capitolul 1

- Figura 1.1 Caracterizarea informațională a profilaxiei.
- Figura 1.2 Caracterizarea informațională a diagnozei.
- Figura 1.3 Caracterizarea informațională a terapiei.
- Figura 1.4 Caracterizarea informațională a unui sistem.
- Figura 1.5 Abordarea de tip intrare – ieșire a profilaxiei medicale.
- Figura 1.6 Abordarea de tip intrare – ieșire a profilaxiei medicale.
- Figura 1.7 Abordarea de tip intrare – ieșire a terapiei medicale.
- Figura 1.8 Relaționare bazată pe teoria sistemelor a componentelor practicii medicale.
- Figura 1.9 Descrierea din punct de vedere al teoriei sistemelor a reglării variabilelor proceselor interne ale organismului uman.

Capitolul 2

- Figura 2.1 Intersecția laturilor practicii medicale cu impact în dezvoltarea aparatului medicale.
- Figura 2.2 Conceptualizare din punct de vedere a unui SRA după abatere a stimulatorului cardiac.
- Figura 2.3 Schema bloc electronică a unui stimulator cardiac.
- Figura 2.4 Realizarea fizică a unui stimulator cardiac.
- Figura 2.5 Imagini cu componentele electronice din interiorul unui stimulator cardiac.
- Figura 2.6 Conceptualizare din punct de vedere a unui SRA după abatere a defibrilatorului cardiac automat.
- Figura 2.7 Schema bloc a unui defibrilator automat extern.

- Figura 2.8 Defibrilator semiautomat (permite și defibrilarea manuală) extern portabil.
- Figura 2.9 Conceptualizare din punct de vedere al unui SRA după abateră a dispozitivului pentru hemodializă.
- Figura 2.10 Schema bloc a dispozitivului utilizat în (hemo)dializă.
- Figura 2.11 Dispozitiv medical pentru dializă.
- Figura 2.12 Conceptualizare din punct de vedere al unui SRA după abateră a pancreasului artificial.
- Figura 2.13 Pancreas endocrin artificial propus de către autor.
- Figura 2.14 Schema bloc a pancreasului endocrin artificial (pompa de insulină).
- Figura 2.15 Amplasarea pompei de insulină.
- Figura 2.16 Conceptualizare din punct de vedere al unui SRA după abateră a pompei de perfuzie.
- Figura 2.17 Schema bloc a pompei de perfuzie.
- Figura 2.18 Pompă de perfuzie multicanal cu monitorizare.
- Figura 2.19 Conceptualizare din punct de vedere a unui SRA după abateră a unei proteze robotizate.
- Figura 2.20 Proteză robotizată a brațului.
- Figura 2.21 Dispozitiv cohlear implantabil.
- Figura 2.22 Schema de principiu a unui dispozitiv pentru implant cohlear.
- Figura 2.23 Conceptualizare din punct de vedere al unui SRA după abateră a bypassului cardiopulmonar.
- Figura 2.24 Circuitul bypass-ului cardiopulmonar extracorporal.
- Figura 2.25 Bypass cardiopulmonar operat de anestezist.
- Figura 2.26 Abordare sistemică a principiile biofeedback-ului.
- Figura 2.27 Biofeedback-ul bazat pe activitatea electrică cerebrală.
- Figura 2.28 Dispozitiv utilizat în biofeedback.
- Figura 2.29 Captură a interfeței grafice cu utilizatorul a aplicației freeware BrainBay.

Capitolul 3

- Figura 3.1 Structura unui neuron.
- Figura 3.2 Exemplu de electroencefalogramă asociată cu ritmul sinusal cardiac.
- Figura 3.3 Exemplu de activitate cerebrală delta (normalizat pe ordonată – valoarea maximă este 1) cu durata de o secundă (abscisă – timp în secunde).
- Figura 3.4 Exemplu de activitate cerebrală teta (normalizat pe ordonată – valoarea maximă este 1) cu durata de o secundă (abscisă – timp în secunde).
- Figura 3.5 Exemplu de activitate cerebrală alfa (normalizat pe ordonată – valoarea maximă este 1) cu durata de o secundă (abscisă – timp în secunde).
- Figura 3.6 Exemplu de activitate cerebrală beta (normalizat pe ordonată – valoarea maximă este 1) cu durata de o secundă (abscisă – timp în secunde).
- Figura 3.7 Exemplu de activitate cerebrală gama (normalizat pe ordonată – valoarea maximă este 1) cu durata de o secundă (abscisă – timp în secunde).
- Figura 3.8 Prezentare sintetică a structurii electroencefalografului.
- Figura 3.9 Dispozitiv hibrid de măsurare EEG și stimulare acustică – schema bloc.
- Figura 3.10 Fluxul informațional corespunzător schemei bloc din figura 3.9.
- Figura 3.11 Condiționatorul de semnal (de senzor) din cadrul electroencefalografului.
- Figura 3.12 Filtrele de rejecție a interferențelor din afara spectrului de frecvență a semnalului util și limitatorul de tensiune de la intrarea condiționatorului de semnal.
- Figura 3.13 Schema amplificatorului de instrumentație, realizat cu trei amplificatoare operaționale.
- Figura 3.14 Adăugarea circuitului „DC servo” la amplificatorul de instrumentație.
- Figura 3.15 Amplificator și filtru „trece jos”.
- Figura 3.16 Schema internă a amplificatorului de instrumentație LT1167.
- Figura 3.17 Variantă de condiționator de semnal bazată pe circuitul LT1167.

- Figura 3.18 Caracteristicile de transfer amplitudine și fază în funcție de frecvență ale variantei alternative de condiționator de semnal.
- Figura 3.19 PCM2912A - Audio CODEC cu interfață USB, intrare de microfon cu reglaj al amplificării și ieșire de căști stereo.
- Figura 3.20 Selectarea dispozitivului audio implicit.
- Figura 3.21 Ajustarea ratei de eșantionare pentru convertorul analogic – numeric.
- Figura 3.22 Ajustarea ratei de eșantionare pentru convertorul numeric – analogic.
- Figura 3.23 Programarea câștigurilor amplificatoarelor de intrare și ieșire.
- Figura 3.24 Schema detaliată a stabilizatorului de tensiune de alimentare.
- Figura 3.25 Regulatorul LP3878 – ADJ - schema funcțională.
- Figura 3.26 ADuM5000 – schema funcțională.
- Figura 3.27 ADuM4160 – schema funcțională.
- Figura 3.28 Electroencefalograf - schema detaliată.
- Figura 3.29 Aspectul exterior al EEG, conexiunile condiționatorului de semnal.
- Figura 3.30 Imagine din interiorul condiționatorului de semnal.
- Figura 3.31 Schema bloc a structurii de testare a echipamentului EEG.
- Figura 3.32 Vedere de ansamblu ale echipamentelor utilizate.
- Figura 3.33 Interconectarea echipamentelor pentru testare pe subiect uman.
- Figura 3.34 Testarea cu semnal sinusoidal de -2.3dB.
- Figura 3.35 Testarea cu semnal sinusoidal de -8.3dB (jumătate din cel din figura 3.31).
- Figura 3.36 Captură a imaginii de pe display în timpul testelor de înregistrare.

Capitolul 4

- Figura 4.1 Abordare sistemică a relațiilor dintre practicile medicale și homeostază.
- Figura 4.2 Componentele sistemului de reglare homeostatică din interiorul corpului uman la care au fost adăugate numerele relațiilor din

subcapitolul 4.2 în pozițiile corespunzătoare informațiilor conținute de acestea.

- Figura 4.3 Abordarea informațională (intrare – ieșire) a procesului de reglare homeostatică.
- Figura 4.4 Fluxul informațional asociat procesului de reglare homeostatică.
- Figura 4.5 Influențarea sistemului de reglare homeostatică (sistemul adaptabil) cu ajutorul unui sistem de adaptare cu capacitate de influențare psihică.
- Figura 4.6 Efectul sunetului asupra organismului uman.
- Figura 4.7 Schema bloc a SRA propus.
- Figura 4.8 Schema logică asociată sistemului de reglare automată dezvoltat (procedura de stimulare).
- Figura 4.9 SRA destinat reducerii dezechilibrului homeostatic – prezentare detaliată.
- Figura 4.10 Circulația informației acustice de la sursa sonoră până la percepție.
- Figura 4.11 Anatomia urechii umane.
- Figura 4.12 Abordarea de natură structurală a subsistemului ureche umană.
- Figura 4.13 Abordare sistemică a psihofizicii auzului.
- Figura 4.14 Semnal EEG în funcție de timp la începutul procesului de stimulare.
- Figura 4.15 Densitatea spectrală 2D a semnalului din figura 4.13 (slide-uri suprapuse).
- Figura 4.16 Variația densității spectrale în timp la începutul stimulării (prezentare 3d).
- Figura 4.17 Semnal EEG în funcție de timp la sfârșitul procesului de stimulare.
- Figura 4.18 Densitatea spectrală 2D a semnalului din figura 4.16 (slide-uri suprapuse).
- Figura 4.19 Variația densității spectrale în timp la sfârșitul stimulării (prezentare 3D).
- Figura 4.20 Informațiile ce apar la încheierea procedurii de stimulare în programul realizat în Matlab®.
- Figura 4.21 Modulul de dezvoltare Arduino Leonardo.

- Figura 4.22 Schema detaliată a modului de dezvoltare bazat pe microcontrolerul ATmega32u4.
- Figura 4.23 Senzorul fotopletismografic PulseSensor.
- Figura 4.24 Schema senzorului biometric PulseSensor.
- Figura 4.25 Histogramă asociată autoevaluării nivelului de relaxare pe subiecți.
- Figura 4.26 Histogramă asociată ritmului sinusal cardiac pe subiecți.
- Figura 4.27 Histogramă asociată frecvenței maximului densității spectrale de amplitudine.
- Figura 4.28 Evoluția frecvenței maximului densității spectrale de amplitudine a semnalului electroencefalografic pre/poststimulare pentru fiecare din cei 25 de subiecți.
- Figura 4.29 Evoluția ritmului sinusal cardiac pre/post-stimulare pentru fiecare din cei 25 de subiecți.
- Figura 4.30 Evoluția autoevaluării stării de relaxare pre/post-stimulare pentru fiecare din cei 25 de subiecți.
- Figura 4.31 Corelația dintre rezultatele obiective și cele subiective.

Anexa 1

- Figura A1.1 Caracteristicile de zgomot echivalent la intrare.
- Figura A1.2 Circuitul de intrare proprietar National Semiconductor care anulează curentul de polarizare de la intrare.
- Figura A1.3 Diode „anti – paralel” între intrări.

Anexa 2

- Figura A2.1 Semnal de test de 2 Hz și -2,30 dB.
- Figura A2.2 Semnal de test de 5 Hz și -2,30 dB.
- Figura A2.3 Semnal de test de 10 Hz și -2,30 dB (testul 1).
- Figura A2.4 Semnal de test de 10 Hz și -2,30 dB (testul 2).

- Figura A2.5 Semnal de test de 10 Hz și -2,30 dB (testul 3).
- Figura A2.6 Semnal de test de 15 Hz și -2,30 dB.
- Figura A2.7 Semnal de test de 20 Hz și -2,30 dB.
- Figura A2.8 Semnal de test de 25 Hz și -2,30 dB.
- Figura A2.9 Semnal de test de 30 Hz și -2,30 dB.
- Figura A2.10 Semnal de test de 35 Hz și -2,30 dB.
- Figura A2.11 Semnal de test de 40 Hz și -2,30 dB.
- Figura A2.12 Semnal de test de 45 Hz și -2,30 dB.
- Figura A2.13 Semnal de test de 50 Hz și -2,30 dB.
- Figura A2.14 Semnal de test de 2 Hz și -8,30 dB.
- Figura A2.15 Semnal de test de 5 Hz și -8,30 dB.
- Figura A2.16 Semnal de test de 10 Hz și -8,30 dB (testul 1).
- Figura A2.17 Semnal de test de 10 Hz și -8,30 dB (testul 2).
- Figura A2.18 Semnal de test de 10 Hz și -8,30 dB (testul 3).
- Figura A2.19 Semnal de test de 15 Hz și -8,30 dB.
- Figura A2.20 Semnal de test de 20 Hz și -8,30 dB.
- Figura A2.21 Semnal de test de 25 Hz și -8,30 dB.
- Figura A2.22 Semnal de test de 30 Hz și -8,30 dB.
- Figura A2.23 Semnal de test de 35 Hz și -8,30 dB.
- Figura A2.24 Semnal de test de 40 Hz și -8,30 dB.
- Figura A2.25 Semnal de test de 45 Hz și -8,30 dB.
- Figura A2.26 Semnal de test de 50 Hz și -8,30 dB.
- Figura A2.27 Evidențierea efectului deconectării electrozului DRL în timpul înregistrării EEG.
- Figura A2.28 Semnal EEG (1) de durată foarte scurtă și analiză spectrală în timp real.
- Figura A2.29 Semnal EEG (2) de durată foarte scurtă și analiză spectrală în timp real.

Figura A2.30 Configurația programului VA pentru testare.

Anexa 3

- Figura A3.1 Fig. A3.1 Diodă BAV199 (limitatoare de tensiune pe intrări) aflată lângă un condensator WIMA de 1 nF și un rezistor Vishay - Dale de 10 K Ω de uz militar (seria RN60) din filtrul de intrare.
- Figura A3.2 Amplificator operațional dual LMP7732 aflată lângă un condensator Vishay - Roederstein de 10 nF (din filtru de intrare) și un rezistor Vishay-Dale de înaltă precizie și zgomot intern foarte mic.
- Figura A3.3 În ordine de sus în jos se remarcă circuitul de rejecție a modului comun (U_3) de intrare (U_1) și circuitul diferențial cu DC-servo (U_2).
- Figura A3.4 În ordine de sus în jos se remarcă primul circuit de amplificare și filtrare (U_4) urmat de un circuit identic (U_5), se observă condensatoarele de 220 nF Vishay – Roederstein
- Figura A3.5 Conectica RCA aurită corespunde, în ordine de sus în jos, conectare electrod 1(roșu), electrod DRL (negru), electrod 2 (galben), ieșire analogică (roșu).
- Figura A3.6 Imagine de ansamblu a condiționatorului de semnal.
- Figura A3.7 Imagine cu circuitele de rejecție a erorilor de mod comun.
- Figura A3.8 Imagine de detaliu U_4,C_6 și R_19.
- Figura A3.9 Imagine cu modulul de dezvoltare Arduino și senzorul pletismografic PulseSensor.
- Figura A3.10 Imagine cu fața de conectare pe scalp a electrozilor.
- Figura A3.11 Imagine cu partea de conectare a electrozilor la conectorii de prindere.
- Figura A3.12 Conectorii de prindere de la capătul dinspre electrozi a cablurilor coaxiale de conectare.

Borderou tabele

Capitolul 1

Tabelul 1.1 Semnificațiile mărimilor de intrare și ieșire asociate profilaxiei medicale.

Tabelul 1.2 Semnificațiile mărimilor de intrare și ieșire asociate diagnozei medicale.

Tabelul 1.3 Semnificațiile mărimilor de intrare și ieșire asociate terapiei medicale.

Capitolul 3

Tabelul 3.1 Tipuri de semnale electroencefalografice.

Tabelul 3.2 Rezultatele testelor echipamentului electroencefalografic.

Capitolul 4

Tabelul 4.1 Semnificațiile tipului de undă b și valorile frecvențelor fb1 și fb2.

Tabelul 4.2 Atribuire de variabile și fișiere wav aferente experimentelor – câmpurile alfa-numerice și fișiere de tip wav.

Tabelul 4.3 Rezultate experimentale – valori numerice.

CONTRIBUTIONS TO THE DEVELOPMENT OF AUTOMATED SYSTEMS WITH APPLICATION IN MEDICAL THERAPY

SCIENTIFIC ADVISOR:

prof. dr. ing. Nicolae PARASCHIV

AUTHOR:

Ing. Stefan Radu BALA

Keywords: automatic control system, medical therapy, electroencephalography, evoked potential, homeostasis, holism, reductionism.

Abstract

As shown in the title (*"CONTRIBUTIONS TO THE DEVELOPMENT OF AUTOMATED SYSTEMS WITH APPLICATION IN MEDICAL THERAPY"*), the author proposes in this thesis to develop an automatic control system for medical therapy. The development of this system will take into account several basic principles, namely:

- in terms of the degree of invasiveness of the patient the system must be noninvasive;
- the automatic control system will include the patient in the process of adjustment, but would require his active involvement in the medical therapeutic act;
- the therapeutic act in this case will be able to restore functional balance of the human body when its suffering doesn't have a cause of organic nature;
- the system will be developed using as theoretical support systems engineering and medical engineering (by subdomains electronics and medical informatics) in practical realization.

To achieve this aim, the author approaches in Chapter 1 of the main domains of the medical practice and the interaction between them in terms of systems theory in order to evaluate the medical process from a perspective of engineering. This approach is useful for both doctors and engineers especially in the development of specific medical engineering equipment.

To clarify the role and importance of engineering in medicine, medical engineering is defined and its subdomains are presented. The levels of invasiveness on the human body of various therapeutic methods are also defined.

Chapter 2 contains an overview and description of automated artificial systems developed using medical engineering and applicable in medical therapy. The systems have been selected by the author considering their high importance in the development of the therapeutic process.

The development of the automatic control system (ACS) which is the subject of this thesis begins in Chapter 3. After the description and classification of brain's electrical activity the author describes the design, construction and testing of electroencephalographic (EEG) equipment with some features that will be used for complete ACS operation.

EEG equipment design was achieved by applying specific methods of medical electronic engineering. All steps required by the EEG equipment design process according to the project's characteristics are revealed. The design ends by integrating subsystems into a complete functional structure. Designed subsystems consist of an electroencephalographic analog signal conditioner, power subsystem and a galvanic insulation that complies with safety standards for the use of medical equipment and a digital system containing an analog to digital converter (ADC) and a digital to analog convertor (DAC) plus an USB interface used for communication with the controller for the ACS.

At the end of Chapter 3 and Annexes 2 and 3 are presented construction details of EEG equipment and tests to check its operating parameters according to design requirements.

Chapter 4 contains the development of an ACS used for therapy that automatically adjusts the homeostatic control parameters of the human body. Terms like homeostasis and homeostatic adjustment are defined and explained from the perspective of systems theory. Causes of the exit from homeostatic balance are identified and will be subject to immediate reaction of ACS to restore the homeostatic balance by canceling this causes.

Once the target of the ACS was set will follow the ACS development based on principles, patterns and procedure designed by the author. The ACS integrates the EEG equipment developed in Chapter 3. The controller of the ACS consists of a software program developed in MATLAB and described at the end of Chapter 4.

Experimental data obtained using ACS developed in Chapter 4 are both of objective nature obtained during the testing process using ACS and of subjective nature based on responses to queries raised by the 25 human subjects involved in the experiment. Data will

be analyzed according to criteria established by the author as expected or unexpected results correlated and uncorrelated results reported to their subjective versus objective nature.

Data presentation is achieved by suggestive illustrations like histograms. To avoid complications imposed by any calibration process metrology, recorded data sizes will be normalized to the maximum value scaling process that will lead to accurate results using the method chosen by the author.

PhD thesis concludes with Chapter 5 which besides general conclusions contains a summary of the author's contributions together with possible directions for further research.

Content

Thanks.....	I
Contents.....	II
List of figures.....	VII
List of tables.....	XV
INTRODUCTION.....	P. 1
Chapter 1. Applications of engineering in medicine	P. 4
1.1 Components of medical practice	P. 5
1.2 Systemic characterization of the medical practice components.....	P. 9
1.3 System integration of medical practice activities with specific physiological processes of the human body.....	P. 16
1.4 Medical Engineering support for medical practices.....	P. 22
1.4.1 Subdomains of the medical engineering.....	P. 23
1.4.2 Institutions specialized in training specialists in medical engineering.....	P. 27
1.5 Partial conclusions.....	P. 28
Chapter 2. The current state of development of artificial automated systems used in medical therapy.....	P. 30
2.1 Methods, procedures and tools specific to medical therapy.....	P. 31
2.1.1 Therapeutic methods and procedures.....	P. 31
2.1.2 Complementarity of medical devices.....	P. 33

2.2 Automatic systems used to assist and correct physiologic functions.....	P. 36
2.2.1 The artificial pacemaker.....	P. 36
2.2.2 The cardiac defibrillator.....	p. 42
2.2.3 Device for (haemo) dialysis (the artificial kidney).....	P. 46
2.2.4 The artificial pancreas.....	P. 50
2.2.5 The infusion Pump.....	P. 55
2.3 Automatic systems used in prosthetic.....	P. 59
2.3.1 Robotic prostheses.....	P. 59
2.3.2 The cochlear implant.....	P. 62
2.4 Automatic systems used in surgical procedures	P. 64
2.5 Automatic systems used in biofeedback therapy.....	P. 69
2.5.1 Features of biofeedback therapy.....	p. 69
2.5.2 Automatic systems dedicated to specific areas of biofeedback.....	P. 72
2.6 Partial conclusions.....	P. 77

Chapter 3. Contributions to development of an equipment for recording electrical activity of the brain.....P. 80

3.1 Electrical activity of the brain.....	P. 80
3.1.1 Classification of electrical activity of the brain depending on the frequency distribution of amplitude.....	P. 85
3.1.1.1 Delta electrical activity	P. 85
3.1.1.2 Theta electrical activity	P. 87
3.1.1.3 Alpha electrical activity.....	P. 87
3.1.1.4 Beta electrical activity	P. 88
3.1.1.5 Gamma Electrical activity.....	P. 89
3.1.2 Classification in terms of the relation cause – effect of the electrical activities of the brain.....	P. 90
3.1.2.1 Spontaneous brain activity	P. 91
3.1.2.2 Brain activity in response to external stimuli (evoked potential).....	P. 91

3.2 Contribution to the development of an EEG equipment customized with specific acoustic stimulation components.....	P. 92
3.2.1 The structure and specifications of the equipment.....	P. 92
3.2.2 The design of signal conditioning section.....	P. 98
3.2.2.1 The instrumentation amplifier.....	P. 102
3.2.2.2 The circuits responsible for eliminating the noise from the input signal.....	P. 109
3.2.2.3 Alternative schematic diagram for the signal conditioner.....	P. 110
3.2.3 Choosing and programming the multiple conversion module (CODEC).....	P. 114
3.2.4 Power subsystem of the EEG equipment	P. 119
3.2.4.1 Stabilization section of the power subsystem.....	P. 120
3.2.4.2 Galvanic isolation section.....	P. 122
3.2.5 The integration of subsystems and build considerations.....	P. 125
3.2.6 Testing developed equipment functionality.....	P. 129
3.3 Partial conclusions.....	P. 138

Chapter 4. Contributions to the development of an automatic system for therapy by adjustment of human homeostatic regulation parameters.....P. 140

4.1 Characterization of homeostatic equilibrium state.....	P. 140
4.1.1 Definition of homeostasis.....	P. 142
4.1.2 System theory interpretation of homeostatic regulation process....	P. 144
4.2 Contributions to establish patterns and test procedures for spontaneous and evoked potential.....	P. 150
4.3 Contributions to the development of an automatic system for the reducing homeostatic imbalance using binaural acoustic stimulation.....	P. 162
4.3.1 Automatic control system overview.....	p. 162
4.3.2 Determining the stimulator acoustic signal parameters.....	P. 169
4.3.3 The algorithm for calculating the frequency corresponding to the maximum spectral amplitude specific to spontaneous and evoked potential of electrical activity of the brain.....	P. 176

4.3.4 Implementation in MATLAB® of the controller.....	P. 191
4.3.5 The development of Arduino software used for detection of the cardiac sinus rhythm.....	P. 197
4.4 Presentation of the results of implementing the automatic system.....	P. 205
4.4.1 Description of acoustic stimuli.....	P. 205
4.4.2 The procedure for binaural acoustic stimulation.....	P. 207
4.4.3 The main components of the evaluation questionnaire	p. 209
4.4.4 The interpretation of experimental results.....	P. 211
4.4.5 Correlation with other experimental results of evoked potentials.....	P. 220
4.5 Partial conclusions.....	P. 228
Chapter 5. Conclusion contributions and further research directions.....	P. 230
5.1 General conclusions.....	P. 230
5.2 Summary of original contributions.....	P. 232
5.3 Possible directions for further research.....	P. 233
Bibliography.....	P. 243
Web bibliography.....	P. 247
Appendices.....	P. 247
Appendix 1. Electrical components used in the electroencephalographic equipment.....	P. 248
Appendix 2 Screenshots during functional tests of the electroencephalographic equipment made with Visual Analyzer Software.....	P. 252
Appendix 3. Images of hardware details of the EEG equipment.....	P. 283
Appendix 4. Sequences of program implemented for the SRA controller.....	P. 296
Appendix 5. Assessment questionnaire for the patients subject to the experiment.....	P. 299