



UNIUNEA EUROPEANĂ



GUVERNUL ROMÂNIEI  
MINISTERUL EDUCAȚIEI, CĂMINELOR  
ȘI PROTECȚIEI SOCIALE ȘI  
PROTECȚIEI CONSUMATORILOR



Fondul Social European  
POSDRU 2007-2013



Instrumente Structurale  
2007-2013



MINISTERUL  
EDUCAȚIEI  
NAȚIONALE  
CUPRINSUL



UNIVERSITATEA  
POLITEHNICĂ DIN  
BUCUREȘTI

Proiect cofinanțat din Fondul Social European prin Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013  
Investește în oameni!

 UNIVERSITATEA POLITEHNICĂ DIN BUCUREȘTI   
FACULTATEA DE ELECTRONICĂ, TELECOMUNICAȚII ȘI TEHNOLOGIA INFORMAȚIEI

Dragoș-Daniel ȚĂRĂLUNGĂ

# INSTRUMENTAȚIE MEDICALĂ MĂSURAREA ȘI ANALIZA BIOPOTENȚIALELOR

## MASTER ITEMS

Tehnici de Analiză, Modelare și Simulare  
pentru Imagistică, Bioinformatică și Sisteme Complexe

## PREFAȚĂ

*”Instrumentație biomedicală. Măsurarea și analiza biopotențialelor”* se adresează în principal studenților care urmează un ciclu de licență sau de master în domeniul ingineriei biomedicale dar și medicilor care doresc să afle detalii despre modul de funcționare al aparaturii medicale, pentru o mai bună exploatare a acesteia.

Cartea este structurată pe nouă capitole. Primul capitol cuprinde o introducere în domeniul ingineriei biomedicale, prezentând pe scurt principalele subdomenii și rolurile pe care le poate avea un inginer biomedical în societate. În Capitolul 2 sunt prezentate normele pe care trebuie să le îndeplinească orice sistem de instrumentație ce urmează a fi utilizat în practica clinică. Sunt descrise riscurile la care sunt expuși pacienții / personalul medical în timpul funcționării sistemelor de instrumentație precum și nivelurile de protecție pe care acestea trebuie să le includă în mod obligatoriu. Capitolul 3 cuprinde descrierea unui sistem de achiziție folosit pentru uz didactic și cercetare dezvoltat de Biopac Systems. Acesta este folosit pentru a ilustra practic procedeul de achiziție al biopotențialelor. Modul în care sunt generate biopotențialele în corpul uman este prezentat în Capitolul 4, iar senzorii folosiți în ingineria biomedicală pentru achiziționarea de biopotențiale sunt descriși în Capitolul 5. Ultimele trei capitole cuprind prezentarea detaliată a sistemelor de instrumentație (origine semnal, senzori folosiți, etajele sistemului de instrumentație, aplicații) utilizate pentru achiziționarea de biopotențiale provenite de la inimă (electrocardiograma), de la mușchii scheletici (electromiograma) și de la creier (electroencefalograma). Pe lângă aplicațiile practice, sunt propuse spre rezolvare o serie de exerciții, întrebări și probleme.

## Cuprins

PREFAȚĂ.....	3
Cuprins .....	5
CAPITOLUL 1. Introducere în Inginerie Biomedicală.....	9
1.1. Ce este ingineria biomedicală? .....	9
1.2. Noi rezultate în ingineria biomedicală .....	16
1.2.1. Proteze .....	16
1.2.2. Ingineria țesuturilor .....	19
1.2.3. Celule stem.....	20
CAPITOLUL 2. Protecția pacientului la riscurile de natură electrică datorate echipamentelor electrice medicale .....	21
2.1. Introducere .....	21
2.2. Șocul electric:.....	23
2.2.1. Șoc generat de macro-curenți.....	24
2.2.2. Efecte ale curentului electric asupra corpului uman .....	25
2.2.3. Șoc generat de microcurenți.....	26
2.2.4. Electrofiziologia fibrilației ventriculare .....	27
2.3. Curenți de scurgere.....	29
2.3.1. Tipuri de curenți de scurgere .....	30
2.3.2. Tipuri de echipamente electrice medicale.....	31
2.3.3. Circuite de măsurare a curenților de scurgere .....	33
CAPITOLUL 3. Sistemul de achiziție BIOPAC .....	41
3.1. Sistemul de achiziție Biopac.....	41

INSTRUMENTAȚIE BIOMEDICALĂ. MĂSURAREA ȘI ANALIZA  
BIOPOTENȚIALELOR

---

3.1.1.	Descrierea componentelor hardware:.....	42
3.1.2.	Descrierea componentei software: .....	51
CAPITOLUL 4.	Amplificatorul de biopotențial. Zgomote în măsurători de biopotențial	71
4.1.	Elemente de teorie a circuitelor .....	71
4.1.1.	Mărimi electrice. ....	74
4.2.	Amplificatorul de biopotențial.....	78
4.2.1.	Amplificatorul de instrumentație.....	83
4.3.	Zgomot în măsurători de biopotențial.....	86
4.3.1.	Zgomote externe : zgomot introdus de liniile de tensiune.....	87
4.3.2.	Zgomote interne sistemului de instrumentație .....	99
4.4.	Izolație galvanică în sistemul de instrumentație .....	102
4.5.	Protecția în sistemul de instrumentație .....	105
CAPITOLUL 5.	Sursa biopotențialelor.....	109
5.1.	Structura membranei celulare. Potențialul de repaus și cel de acțiune.....	109
5.2.	Legi fizice la nivelul membranei celulare .....	115
5.2.1.	Legea difuziei (Fick).....	115
5.2.2.	Legea lui Ohm .....	116
5.2.3.	Relația lui Einstein.....	116
5.2.4.	Exprimarea potențialului de repaus pentru o membrană permeabilă doar pentru un tip de ion.....	117
5.2.5.	Ecuția lui Goldman .....	119
5.3.	Circuitul electric echivalent pentru membrana celulară .....	121
5.3.1.	Proprietățile electrice ale membranei celulare .....	121
5.3.2.	Modelul Hodkin – Huxley .....	126
5.4.	Aplicații .....	129

## Cuprins

---

CAPITOLUL 6. Senzori biomedicali .....	133	
6.1. Introducere .....	133	
6.2. Senzori pentru măsurarea deplasărilor .....	143	
6.2.1. Senzori rezistivi .....	143	
6.3. Electrozi pentru biopotențiale .....	156	
6.3.1. Interfața electrod-electrolit .....	158	
6.3.2. Impedanța interfeței electrod-electrolit.....	162	
6.3.3. Polarizare .....	165	
6.3.4. Materiale.....	168	
6.3.5. Proprietățile electrice ale pielii .....	169	
6.3.6. Gelul de electrod și efectele sale .....	173	
6.3.1. Proiectarea electrozilor.....	174	
CAPITOLUL 7. Sisteme de instrumentație pentru măsurarea activității cardiace .	177	
7.1. Măsurarea activității electrice a inimii.....	177	
7.1.1. Sursa semnalului electric cardiac.....	177	
7.1.2. Sistem de instrumentație pentru măsurarea activității electrice a inimii	185	
7.1.3. Configurații pentru măsurarea semnalului ECG. ....	200	
7.2. Măsurarea activității mecanice a inimii. Fonocardiografia.....	208	
7.2.1. Sursa semnalului PCG.....	209	
7.2.2. Sistemul de instrumentație pentru înregistrarea activității mecanice a	inimii, fonocardiograful.....	215
7.3. Aplicații .....	219	
7.3.1. Lucrare practică: înregistrarea și analiza semnalului ECG .....	219	
7.3.2. Probleme și întrebări propuse .....	228	

INSTRUMENTAȚIE BIOMEDICALĂ. MĂSURAREA ȘI ANALIZA  
BIOPOTENȚIALELOR

---

CAPITOLUL 8. Sisteme de instrumentație pentru măsurarea activității electrice a mușchilor scheletici.....	231
8.1. Introducere .....	231
8.2. Fiziologia mușchilor și sursa semnalului EMG .....	232
8.3. Sistem de instrumentație pentru măsurarea semnalului EMG .....	237
8.3.1. Senzori.....	237
8.3.2. Etajele de amplificare, filtrare și conversie analog-digitală ale electromiografului .....	246
8.4. Aplicații .....	251
8.4.1. Aplicație practică.....	251
8.4.2. Probleme și întrebări propuse .....	260
CAPITOLUL 9. Sisteme de instrumentație pentru măsurarea activității electrice a creierului	261
9.1. Introducere .....	261
9.2. Fiziologia creierului și sursele semnalului EEG.....	262
9.3. Sistem de instrumentație folosit pentru măsurarea semnalului EEG.....	279
9.3.1. Senzori.....	279
9.3.2. Etajele de (pre)amplificare, protecție și conversie analog digitală.....	283
9.3.3. Artefacte .....	284
9.3.4. Problema inversă .....	285
9.4. Aplicații .....	287
9.4.2. Probleme și întrebări propuse .....	295
Lista Figurilor.....	297
Lista Tabelelor .....	303
Bibliografie .....	305