



生物医学电子学

SHENGWUYIXUE
DIANZIXUE

● 宁新宝 编著

● 湖南科学技术出版社



生物医学电子学

宁新宝 编著

湖南科学技术出版社

生物医学电子学

宁新宝 编著

责任编辑：陈清山
张碧金

*

湖南科学技术出版社出版发行

(长沙市展览馆路3号)

湖南省新华书店经销 湖南省新华印刷二厂印刷

*

1988年8月第1版第1次印刷

开本：787×1092毫米 1/16 印张：25.25 插页：2 字数：613,000

印数：1—3,400

ISBN 7-5357-0116-7

R·19 定价：6.25元

湘昆 87—34

内 容 简 介

生物医学电子学是利用电子学来研究生命物质运动规律的一种新兴的边缘学科。它是医学电生理学的孪生姐妹，是现代医学的开路先锋，是生物医学工程学的基石。

生物医学电子学研究的范围非常广阔，如信号检测、换能器、电子仪器、计算机、超声、激光、微波、电磁波、红外线、射线等新技术在生物学和医学中的应用，以及关于生物信息、生物效应、人工智能的研究等等。

本书介绍了生物信息的内涵及其外延（包括生物电、生物磁、生物声、生物光）、生物信息的获得（主要介绍了各种电极及换能器）、生物信息的处理（包括生物信号放大、遥测、检测、读出）和超声诊断、图象信息处理、CT技术、埋藏电子学及自动监护系统。总之，本书介绍了生物医学电子学研究的主要内容、科学理论、分析方法、基本手段和近期发展起来的新理论及新技术。为便于读者加深理解，本书在各章均有思考题和练习题。

本书题材新颖，信息量大，文字流畅，可作为高等院校有关专业学生和研究生教材或参考书，也可供从事这方面工作的技术人员和医务工作者参考。

代 序

生物医学电子学是一门新兴的边缘学科。它与医学电生理学是一对孪生姐妹，为近代生物学和医学生理学开拓了新局面，为生物医学工程学的兴起和发展奠定了基础。

在本世纪四十年代末期，工程技术向生物学和医学领域渗透，象巨浪一样冲破了学科之间的界限，实现了早期的工程学与生物学和医学的结合，从而使医学这一门古老的学科开始步入新的历史时期，即现代医学时期。生物医学电子学则是现代医学的开路先锋。

生物医学电子学所研究的范围相当广阔。它包括：信号检测、换能器、电子仪器、计算机、超声、激光、微波、电磁波、红外线、射线等新技术在生物医学领域中的应用，以及生物信息、生物效应、人工智能等方面的研究。

本书叙述的内容较新，除了系统地阐明生物医学电子学研究的主要内容、科学理论、分析方法及基本手段外，还介绍了近期发展起来的一些新理论、新技术。如生物磁、生物声、心电图逆问题、生物微弱信号检测、图象信息处理的理论及技术等。另外还概述了高频心电图、化学换能器（即生物换能器）等。作者为加强物理学概念的阐述，对所介绍的内容进行了必要的物理和数学推导，比较深入浅出地达到了在理解的基础上记忆的目的。显然，本书的出版为高等院校有关专业的高年级学生、研究生提供了一本较好的、新颖的基础教材和参考书，并相信它会受到广大读者的欢迎；当然，电子生物学尚处在发展的初级阶段，还有大量未开发的领域有待人们去发掘。因此，希望读者对本书提出宝贵意见，以供再版时参考。

南京医学院 朱思明

1985年7月20日

前 言

生物医学电子学是研究生命物质世界运动规律的一门新兴的边缘学科。早在十八世纪，伽尔伐尼 (Galvani) 便开始用蛙研究神经肌肉的放电现象；到十九世纪和二十世纪初，先后又由哈尔姆格林记录了视网膜的电位活动，柏格记录了耳蜗、心脏和大脑皮层的电位活动等；甚至已有学者用示波器来观察神经电位。但总的说来，对这方面的研究工作进展较缓慢。直到1952年，美国无线电工程学会中成立了一个生物医学电子学专业小组，有20~30人，他们中有三分之一的人员具有生物医学和工程学两门专业大学毕业的水平。这个小组开始用电子学及工程学上的理论和方法，在数学的基础上与生物学的研究相结合，为生物医学电子学的研究开创了一个新局面。同时，这个小组也促进了生物学和医务工作者学习原来不太熟悉的物理学及工程技术，使得两个学科领域里的人有了共同思想和语言。从此，有关生物电位和电生理学的研究进展很快。研究对象不仅遍及各类生物、不同器官和组织，并且深入到某些神经系统的精细结构，取得了很大成就。所有这些成绩的取得，在很大程度上归功于现代无线电电子学的发展，因为它使生物医学与物理科学结合成了一个密切相关的整体。

1959年，美国政府决定大量培养生物医学电子学方面的人才，鼓励大学将电子学和工程学引入到生命科学中去。这一年是促进生物医学电子学发展的重要的一年。现在美国的第一流大学都有生命科学系，而且都有生物医学工程系或科研中心，培养了很多有这方面专业的毕业生和获得博士学位的专家。

1959年，召开了有关生物医学电子学方面的国际性学术会议，由美国人Dr. V. K. Zworykin主持，会议的宗旨是：将电子学应用到生物医学中去，促进国际间的协作。这个会议之后，英国在伦敦相继召开了国内会议，成立了英国分会。在会上，对学会的名称进行了争论，有人认为医学是生物学的一部分，电子学是工程学的一部分，所以不宜用医学电子学会这个名称。经过激烈争论，最后定名为生物医学工程学会。该名称一直沿用到现在。接着，日本、意大利、法国、德国、挪威、芬兰、印度、奥地利和巴西等国也相继成立了这方面的专门组织。

我国从事生物医学工程、生物医学电子学的研究工作还刚开始。1977年已把生物电子学和仿生电子学列入了科学院十年科研规划，并作为电子学发展的方向。从这以后，全国高等院校纷纷成立有关专业和研究室，招收本科生和研究生。1979年、1980年先后成立了全国性的生物医学电子学专业学会和全国性的生物医学工程学会。最近几年来，我国每年都召开了内容丰富的、有较高学术水平的学术会议，并大大促进了这方面学科的发展，使得研究工作获得了可喜成果。前景十分诱人！

生物医学工程学与仿生学虽然不同，但两者是相辅相成的。前者着重用已有的工程技术促进生物医学的研究或临床实践；后者着重通过生物学中的理论和概念，促进工程技术的发展。

生物医学工程学的范围相当广泛，它包括生物医学电子学、生物力学、生物材料、人工

器官和医疗器械等，而其中生物医学电子学是它的基础。

生物医学电子学本身的内容也很丰富，如信号检测技术、电子仪器、计算机技术、超声、红外线、激光、微波、电磁波、射线等新技术在生物医学领域里的应用，都属于它的范畴。但本书不准备，实际上也没有必要对以上诸方面都作详细阐述。

本书内容是根据科学研究的规律，按照这样的基本思路展示的：首先介绍生物信息（包括生物电、生物磁、生物声、生物光），以及如何获得生物信息（主要讲述各种电极及换能器），然后介绍生物信息处理（包括生物信号放大、生物遥测、生物微弱信号检测、超声诊断、图象信息处理及CT技术等）、埋藏电子学、生物信息读出、自动监护系统（包括数字处理与分析）等。全书给出了“生物医学电子学”的全貌，阐明了生物医学电子学研究的大概内容、科学理论、分析方法及基本手段，还介绍了近期发展起来的一些新理论、新技术。各章都附有思考题和习题。

本书不仅可作为大专院校有关专业的高年级学生、研究生的教材和参考书，也可供从事生物医学电子学工作的科技人员和医生参考。

全书内容一部分是本人多年来工作和学习的心得体会；另一部分选材于国内外文献资料、会议集及有关参考书和讲义。在资料的搜集和整理过程中，注意了选材的先进性、系统性和完整性。

本书在编写过程中，曾得到中国心脏起搏技术工程专业委员会主任委员、江苏省生物医学工程学会理事长朱思明教授，江苏省生物医学工程学会理事严志华教授，以及陈惠然、席德勋、沈振宇等同志的帮助和支持。书中插图由胡陵昌、叶杏森等同志描绘。在此一并致谢。

电子学和生物医学正在以惊人的速度发展着，其内涵不断丰富，其外延继续扩大，生物医学电子学也随之拓展着自己的领域。因此，以个人有限的学识实难说清这门全新的学科。而广大读者永远是科学的主人，希望本书能在你们的批评指正下，不断修订完善。

宁新宝 于南京大学

本书常用符号的说明

A	面积；在膜电位推导中表示位能差；增益或放大倍数；电动力矩	\mathcal{E}_B	电极直流极化电势
A^-	阴性蛋白离子	\mathcal{E}_D	心电差动电势
A_+	共模增益或共模放大倍数	\mathcal{E}_m	电势幅值
A/D	模数转换	\mathcal{E}_s	静息电位(膜电位)
A_+	差模增益或差模放大倍数	$\mathcal{E}(\omega)$	能谱，等于 $ F(\omega) ^2$
AGC	自动增益控制电路	e	电子电荷
AM	调幅	e_v	噪声源
A_o	开环增益或开环放大倍数	F	法拉第常数；力；法拉(电容的单位)；调幅信号频率；噪声系数；脉冲重复频率
AZTEC	幅值-时间段编码(是一种数据压缩的方法)	FDM	频分复用
a	活度	FFT	快速富里叶变换
B	磁通密度；磁感应强度；频带宽度	FM	调频
B	顺向传递矩阵	$F(P)$	入射场
C	浓度；电容；消散常数；波速	$F(\omega)$	信号频谱
C_D	分布电容	f	活力系数；频率
C_i	场效应管放大器输入电容	f_b	时基频率
Cl^-	氯离子	f_s	多普勒信号频率
C_L	负载电容	f_L	低频截止频率
CMRR	共模抑制比	g	重力加速度；能量灵敏度
C_o	耦合电容；杂散电容；磁流环	H	磁场强度；热容量；希氏束波
C_s	肌体组织间电容	$H(S)$	滤波器的传递函数
CT	计算机断层装置	Hz	赫兹(周/秒)，频率的单位
CW	连续波；等幅波	h	普朗克常数
CWS	胸壁刺激检查法	$h_{ib}, h_{rb}, h_{fb}, h_{ob}$	晶体管共基h参数
D	直径；穿透系数；脉冲的占空因子；二极管	$h_{ie}, h_{re}, h_{fe}, h_{oe}$	晶体管共射h参数
D/A	数模转换	I	直流电流；交流电流的有效值
d_r	压电常数；反压电常数	I	单位矩阵
E	电场强度；能量；电源	I_b	基极电流
ECG	心电图	I_c	集电极电流
EEG	脑电图	I_D	位移电流；漏极电流
E_s	禁带宽度	I_e	发射极电流
EMG	肌电图	I_M	磁流
ENG	眼震电	I_{xss}	散粒噪声电流有效值
EOG	眼电	\bar{I}_{Nf}^2	$\frac{1}{f}$ 噪声的均方值
ERG	眼电位	i	交变电流瞬时值
\mathcal{E}	电位	J	惯性矩；转动惯量

J 电流密度; 稳态场
 $J_n(x)$ 第一类贝塞尔函数
 K 动能; 斜率
 K 耦合系数
 K_d 阻尼系数
 K_n 心电R波斜率
 K_r 弹性系数或刚性系数
 K_T 心电T波斜率
 k 机电耦合系数; 玻尔兹曼常数
 L 电感; 拉氏变换算子
 L_D 分布电感
 l 长度
 M 磁动势; 和累次数; 叠加次数
 MTF 平均时间
 m 质量; 调幅系数
 m_f 调频指数
 m_n 电子的有效质量
 m_p 空穴的有效质量
 mV 毫伏
 N 线圈匝数
 n 电子密度; 金属离子价数; 谐波次数; 一次扫描时间内的取样数
 P 压力; 心电图中的一种波
 PAM 脉冲幅度调制
 PCM 脉冲编码调制
 PDM 脉冲宽度调制
 PFM 脉冲频率调制
 $P_{f_{c+r}}$ 上旁频的平均功率
 $P_{f_{c-r}}$ 下旁频的平均功率
 PM 脉冲调制
 P_o 载波功率(高频一周内的平均功率)
 P 空穴密度
 Q 品质因数; 温差电动势率; 热量; 排血量
 q 电量
 R 电阻; 气体常数; 反射系数; 心电图中的一种波
 R_B 肌体电阻
 RF 射频
 R_f 皮肤分泌液电阻; 反馈电阻
 R_i 场效应管放大器输入电阻
 R_L 负载电阻
 RI 放射性同位素
 R_m 磁阻
 $R_n(\tau)$ 噪声的自相关函数

$R_{ns}(\tau)$ 噪声与信号的互相关函数
 R_{on} 场效应管漏源间导电电阻
 R_s 皮肤电阻
 $R_s(\tau)$ 信号的自相关函数
 $R_{sn}(\tau)$ 信号与噪声的互相关函数
 $R(t)$ 可靠度
 $R(\theta)$ 方向性函数
 R_p 微电极电阻
 $R(\tau)$ 相关函数
 r 半径; 距离
 s 秒; 应变; 西门子; 在拉氏变换中表示 $j\omega$; 生物体表面
 $S(f)$ 信号频谱(在个别处为了运算方便而用)
 $\left(\frac{S}{N}\right)_t$ 时域里的信噪比
 $\left(\frac{S}{N}\right)_f$ 频域里的信噪比
 $S_n(\omega)$ 噪声功率密度谱
 S_o 心内电流源壳体
 S_p 功率应力比
 $S_s(\omega)$ 信号功率密度谱
 $S(l)$ 在信号检测中表示信号
 S_v 压控灵敏度
 S_v 电压应力比
 T 绝对温度; 周期; 张力; 心电图中的一种波; 晶体三极管; 场效应管; 温度
 T_B 时基宽度
 T_b 时基周期
 TDM 时分复用
 TTL 晶体管—晶体管逻辑(电路)
 T_i 积分时间常数
 T_{max} 最高次谐波周期
 T_o 观察时间常数
 T_{ss} 慢扫描时间
 t 脉冲宽度
 U 直流电压; 交流电压有效值; 心电图中的一种波
 UCG 超声心动图
 U_c 集电极电压; 共模电压
 U_{cs} 共模输入信号
 U_d 差动干扰电压
 U_i 输入信号
 U_m 信号幅值
 U_n 噪声电压

U_{yt}	热噪声电压	β	共射短路电流放大系数
U_o	输出信号	γ	电阻率 ρ 的倒数;非线性失真系数;相对误差;灰度
U_{oc}	共模输出电压	ΔE	温差电动势
U_{os}	失调电压	Δf_N	噪声带宽
U_p	信号峰值	ΔT	取样间隔
U_{p-p}	信号峰-峰值	$\Delta U_{,,}$	漂移电压
U_R	反向电压	$\Delta U_{,,,}$	温漂电压的共模分量
U_s	信号源	$\Delta U_{,,,}$	温漂电压的差模分量
U_{im}	调幅信号幅度	δ	泊松比
U_{zm}	高频载波幅度	ϵ	介电常数
u	交变电压瞬时值	ϵ_0	真空介电常数
u_i	输入信号	ϵ_r	相对介电常数
u_o	输出信号	ξ	顺服系数(即柔软常数)
u_i	调幅信号	θ	相位角
u_r	调幅波	λ	波长;故障率
u_z	高频载波	μ	导磁系数
V	体表电位图矢量	μ_r	迁移率
V	体积;空(气)域	μ_0	真空导磁系数
V	补域	μ_r	相对导磁系数
v	速度;血流平均速度	μV	微伏
W	重量;功率	ξ	敏感常数;失配度
w	单位长度重量	π_r	压阻系数
x	位移	ρ	电阻率;辨差比
y_i	放大器的输入导纳	ρ_s	密度
$y_{ie}, y_{re}, y_{fe}, y_{oe}$	晶体管共射 y 参数	σ	应力;电导率
y_o	放大器的输出负载导纳	τ	时间常数(RC)
y_o	放大器的输出导纳;弹性模量	Φ	磁通
Z	阻抗	ϕ	标量势
Z^{-1}	逆传递矩阵	ψ	在个别公式推导中表示电位
Z_o	人体接地阻抗	Ω	欧姆;调制信号的角频率;立体角
Z_i	输入阻抗	ω	角频率
Z_N	噪声源阻抗	ω_h	高频截止角频率
Z_s	源阻抗	ω_l	低频截止角频率
Z_w	威勃阻抗	ω_0	谐振角频率;载波角频率
α	温度系数;吸收系数;共基极短路电流放大系数		

本书常用单位与国际单位制之间的换算关系

本书常用单位		换算成国际单位		备注
名称	代号	名称	代号	
米	m	米	m	
厘米	cm	10 ⁻² 米	10 ⁻² m	
毫米	mm	10 ⁻³ 米	10 ⁻³ m	
微米	μm	10 ⁻⁶ 米	10 ⁻⁶ m	
埃	Å	10 ⁻¹⁰ 米	10 ⁻¹⁰ m	
米/秒	m/s	米/秒	m/s	
千克	kg	千克	kg	
克	g	10 ⁻³ 千克	10 ⁻³ kg	
毫克	mg	10 ⁻⁶ 千克	10 ⁻⁶ kg	
微克	μg	10 ⁻⁹ 千克	10 ⁻⁹ kg	
克/(厘米) ³	g/cc	10 ³ 千克/米 ³	10 ³ kg/m ³	
克/(厘米) ³ ·秒	g/(cm) ³ ·s	10 ³ 千克/米 ³ ·秒	10kg/m ³ ·s	
秒	s	秒	s	
毫秒	ms	10 ⁻³ 秒	10 ⁻³ s	
分	min	60秒	60s	
小时	hour	3600秒	3600s	
毫升/分	ml/min	1.67 × 10 ⁻⁸ 米 ³ /秒	1.67 × 10 ⁻⁸ m ³ /s	
摩尔/升	mol/l	千摩尔/米 ³	kmol/m ³	
伏特	V	伏	V	1伏 = 1瓦/安
毫伏	mV	10 ⁻³ 伏	10 ⁻³ V	
微伏	μV	10 ⁻⁶ 伏	10 ⁻⁶ V	
伏/度	V/°C	伏/度	V/°C	摄氏度 = 开尔文(K)
微伏/度	μV/°C	微伏/度	10 ⁻⁶ V/°C	
安培	A	安	A	
毫安	mA	10 ⁻³ 安	10 ⁻³ A	
微安	μA	10 ⁻⁶ 安	10 ⁻⁶ A	
微安/流明	μA/Lm	10 ⁻⁶ 安/流明	10 ⁻⁶ A/Lm	
欧姆	Ω	欧	Ω	1欧 = 1伏/安
兆欧	MΩ	10 ⁶ 欧	10 ⁶ Ω	
欧姆·厘米	Ω·cm	10 ⁻² 欧·米	10 ⁻² Ω·m	
千欧姆·(厘米) ²	kΩ·cm ²	10 ⁻¹ 欧·米 ²	10 ⁻¹ Ω·m ²	
法拉	F	法	F	1法 = 1库/伏
微法拉	μF	10 ⁻⁶ 法 ²	10 ⁻⁶ F	
微法拉/米 ²	μF/米 ²	10 ⁻⁶ 法/米 ²	10 ⁻⁶ F/m ²	
亨利	H	亨	H	1亨 = 1韦/安

续表

本书常用单位		换算成国际单位		备注
名称	代号	名称	代号	
微亨	μH	10^{-6} 亨	10^{-6}H	
瓦特	W	瓦	W	1瓦 = 1焦/秒
瓦特/(厘米) ²	W/cm^2	10^4 瓦/米 ²	$10^4\text{W}/\text{m}^2$	
毫瓦/(厘米) ²	mW/cm^2	10瓦/米 ²	$10\text{W}/\text{m}^2$	
库仑	C	库	C	
库仑/牛顿	C/N	库/牛	C/N	
焦耳/度	J/℃	焦/度	J/℃	1焦 = 1牛·米
焦耳/摩尔·度	J/mol·℃	焦/摩·度	J/mol·℃	
牛顿/米	N/m	牛/米	N/m	1牛 = 1千克·米/秒 ²
牛顿/米 ²	N/m^2	牛/米 ²	N/m^2	
毫米汞柱	mmHg	133.28帕	133.28Pa	
帕斯卡	Pa	帕	Pa	1帕 = 1牛/米 ²
微帕	μPa	10^{-6} 帕	10^{-6}Pa	
高斯	GS	10^{-4} 特	10^{-4}T	
特斯拉·米/安	T·m/A	特·米/安	T·m/A	1特 = 1韦/米 ²
安培/韦伯	A/Wb	安/韦	A/Wb	1韦 = 1伏·米
韦伯/米 ²	Wb/m^2	韦/米 ²	Wb/m^2	
勒克斯	LUX	勒	LUX	1勒 = 1流/米 ²

目 录

本书常用符号的说明	(1)
本书常用单位与国际单位制之间的 换算关系	(4)

第一章 生物信息

§ 1-1 生物电现象	(1)
一、组织和细胞的电学性质	(2)
(一) 组织和细胞的导电性	(2)
(二) 组织和细胞的电容性	(2)
二、膜电位	(3)
(一) 静息电位	(3)
(二) 动作电位	(8)
三、体表电位	(8)
(一) 心电、心电图及高频心电图	(9)
(二) 脑电波和脑电图	(13)
(三) 肌电和肌电图	(15)
(四) 皮肤电位	(18)
四、心电图逆问题	(19)
(一) 心电图逆问题与顺向问题的 关系	(19)
(二) 心电图逆问题的新解法	(21)
§ 1-2 生物磁现象	(24)
一、人体磁场的来源及强度	(24)
二、心磁场	(25)
三、脑磁场	(25)
四、肺磁场	(26)
五、视网膜磁场	(27)
六、肝磁场	(27)
§ 1-3 生物声现象	(27)
§ 1-4 生物光现象	(28)
思考题	(29)
习题	(30)

第二章 生物信息提取

§ 2-1 概述	(31)
§ 2-2 测量电极	(32)

一、电极电位	(32)
二、电极的极化	(33)
三、可逆电极	(34)
四、电极在溶液中的等效电路	(35)
五、电极电位的稳定性	(36)
六、电极的种类及其选用	(36)
(一) Ag-AgCl电极	(37)
(二) 各种皮肤表面大电极	(38)
(三) 各种皮下微电极	(40)
(四) 用微电极记录膜电位	(42)
§ 2-3 典型换能器	(46)
一、换能器的作用和分类	(46)
(一) 换能器能将非电量转换成电量	(46)
(二) 在非电量测量系统中对换能器 的要求	(46)
(三) 一般换能器的分类	(46)
二、换能器的分析方法	(48)
(一) 由带粘性阻尼的弹簧元件构成 的换能器	(48)
(二) 由运动物质、弹性元件和粘性 阻尼构成的换能器	(49)
(三) 频谱	(49)
(四) 拉氏变换	(51)
(五) 系统的传输特性	(54)
(六) 机电模拟	(57)
三、阻抗式换能器	(59)
(一) 电阻式换能器	(59)
(二) 电感式换能器	(68)
(三) 电容式换能器	(78)
四、压电式换能器	(89)
(一) 原理	(89)
(二) 在生物医学中的应用	(92)
五、光电式换能器	(94)
(一) 光电效应	(94)
(二) 光电换能元件	(95)

(三) 光电换能器的光源及测量电路	(106)
(四) 光电式换能器在生物医学中的应用	(108)
六、热电换能器	(111)
(一) 热电偶	(111)
(二) 热敏电阻	(113)
(三) 热电换能器在生物医学中的应用	(117)
§ 2-4 超声换能器	(118)
一、超声波	(113)
(一) 波的类型	(113)
(二) 波的几个物理量	(118)
二、超声的发生	(120)
(一) 原理	(120)
(二) 压电体的振动	(121)
三、超声诊断的物理基础	(122)
(一) 超声的传播	(125)
(二) 超声场	(127)
(三) 超声的衰减	(130)
四、超声换能器	(131)
(一) 原理	(131)
(二) 性能	(131)
(三) 结构	(132)
五、超声换能器在生物医学中的应用	(134)
(一) 超声诊断仪和超声理疗仪	(134)
(二) 超声全息	(135)
(三) 超声诊断仪的分类	(136)
思考题	(137)
习题	(138)

第三章 生物信息处理

§ 3-1 概述	(141)
§ 3-2 生物信号放大	(145)
一、生物信号特性	(145)
二、源阻抗和极化电压在生物电测量中的影响	(147)
(一) 源阻抗在生物电测量中的影响	(147)
(二) 极化电压在生物电测量中的影响	(149)
三、生物信号放大器	(149)
(一) 高输入阻抗	(149)
(二) 共模抑制	(150)

(三) 温度漂移	(152)
(四) 生物电放大器实例	(161)
四、生物信号放大器设计原理	(164)
(一) 心电信号源及其等效电路	(164)
(二) 心电放大器输入阻抗和频率响应	(165)
(三) 心电干扰及抑制措施	(166)
(四) 滤波器	(173)
(五) 病人免受电震的防护电路	(176)
(六) 心电放大器的保护电路	(177)
(七) 切换导联自动复零电路	(178)
(八) 心电电极	(180)

§ 3-3 生物遥测

一、信号源	(182)
二、天线	(183)
三、单通道遥测装置	(184)
(一) 射频载波的调制与解调	(185)
(二) 副载波的调制与解调	(191)
(三) 实例——心电遥测仪	(193)
四、多路遥测系统	(200)
(一) 频分复用 (FDM)	(200)
(二) 时分复用 (TDM)	(203)
(三) 频分复用和时分复用的比较	(203)

§ 3-4 生物微弱信号检测

一、几个基础理论	(204)
(一) 信号	(204)
(二) 几种典型信号的富氏分析	(205)
(三) 噪声	(209)
(四) 相关函数与相关器	(211)
(五) 噪声的迭加	(215)
(六) 信噪比和噪声系数	(216)
(七) 采样定理	(218)
二、锁定放大器 (Lock-in)	(218)
(一) 理论基础	(218)
(二) 方框原理图	(219)
三、取样积分器 (The Boxcar Detector)	(221)
(一) 理论依据	(221)
(二) 原理	(222)
(三) 方框图及其工作过程	(224)
(四) 误差分析	(227)
(五) 参数选择	(229)
(六) 在生物医学中的应用	(231)
四、多道积分器	(233)

(一) 原理与框图	(233)
(二) 应用实例	(235)
五、数字式多道平均器	(236)
(一) 原理	(236)
(二) 在生物医学中的应用	(237)
六、空间叠加仪(简介)	(238)
(一) 空间叠加与时间叠加的比较	(238)
(二) 空间叠加仪的方框图	(238)
(三) 空间叠加仪的工作原理	(239)
§ 3-5 超声诊断仪	(239)
一、脉冲式超声诊断仪	(240)
(一) A型超声诊断仪	(240)
(二) B型超声诊断仪	(242)
(三) M型超声诊断仪(超声心动图)	(244)
二、多普勒超声诊断仪	(245)
(一) 多普勒效应	(245)
(二) 超声多普勒法诊断原理	(245)
(三) 超声多普勒诊断仪	(246)
§ 3-6 图象信息处理	(246)
一、原理与框图	(246)
二、图象处理的方法	(247)
(一) 空间域处理	(247)
(二) 频域处理	(250)
三、计算机断层装置(CT)简介	(251)
思考题	(252)
习题	(253)

第四章 埋藏电子学

§ 4-1 概述	(258)
一、埋藏装置	(258)
二、埋藏装置的应用	(258)
(一) 用于生理学、药理学和疾病的动物研究	(258)
(二) 长时间监视	(258)
(三) 闭环环路控制系统	(258)
(四) 埋藏操作装置	(259)
§ 4-2 埋藏遥测技术	(259)
一、方框原理图	(259)
二、埋藏式发射单元	(260)
§ 4-3 埋藏刺激	(262)
一、埋藏刺激的应用	(262)
二、埋藏刺激电路的构成	(262)
三、埋藏刺激存在的主要问题	(262)

§ 4-4 埋藏式心脏起搏器	(263)
一、心脏起搏器的一般原理	(263)
(一) 心脏起搏器的分类	(264)
(二) 心脏起搏器的技术参数及其电生理基础	(264)
(三) 按需型心脏起搏器的工作原理	(265)
二、埋藏式心脏起搏器的原理及其特点	(268)
三、埋藏式微型电池	(268)
(一) 锂电池	(268)
(二) 核电池	(269)
(三) 生物能电池	(269)
(四) 再充电式电池	(269)
四、按需型埋藏式心脏起搏器寿命和可靠性的分析	(269)
(一) 寿命和可靠度	(270)
(二) 寿命和可靠度的预算举例	(270)
(三) 实现和提高系统可靠性的技术措施	(272)
五、起搏病人起搏功能的预测	(272)
(一) 预测项目和预测设备	(272)
(二) 预测方法	(272)
(三) 电话传输心电图	(275)
六、程序控制式心脏起搏器的介绍	(275)
(一) 概况	(275)
(二) 原理	(275)
(三) 种类和应用	(276)
(四) 优点	(277)
七、埋藏式心脏起搏器的发展趋势	(278)
(一) 心房起搏器	(278)
(二) 埋藏式超速起搏器	(278)
(三) 埋藏式自动除颤器	(279)
(四) “自适应”埋藏式起搏器	(279)
思考题	(279)
习题	(279)

第五章 生物信号读出

§ 5-1 概述	(280)
§ 5-2 笔型记录仪	(281)
一、热笔记录仪	(281)
(一) 结构方框图	(281)
(二) 技术特性	(282)
(三) 工作原理	(282)

二、喷水笔记录仪.....(284)	
(一) 结构方框图.....(285)	
(二) 技术特性.....(285)	
(三) 工作原理.....(285)	
三、“光笔”记录仪.....(289)	
(一) 结构方框图.....(290)	
(二) 主要技术特性.....(290)	
(三) 工作原理.....(291)	
四、函数记录仪.....(292)	
(一) 结构方框图.....(293)	
(二) 主要技术特性.....(293)	
(三) 工作原理.....(294)	
五、多道记录仪.....(297)	
(一) 结构方框图及其功能.....(297)	
(二) 技术特性(略).....(298)	
(三) 工作原理.....(298)	
§ 5-3 磁带记录仪.....(299)	
一、原理.....(299)	
(一) 工作原理.....(299)	
(二) 磁带记录的方式.....(299)	
二、输入电路.....(301)	
(一) 前置放大器.....(301)	
(二) 磁带记录仪与前置放大器之间的连接电路.....(301)	
(三) 前置放大器与信号源之间的连接电路.....(303)	
三、提高信噪比的途径.....(303)	
(一) 提高输入信噪比.....(303)	
(二) 采用窄频带记录.....(304)	
(三) 采用噪声补偿道.....(304)	
四、多路同时记录.....(304)	
五、应用举例.....(304)	
(一) 设计思想.....(304)	
(二) 电路框图及其性能.....(305)	
(三) 工作原理.....(305)	
(四) 主要性能测试与使用效果.....(308)	
§ 5-4 示波显示.....(309)	
一、慢扫描示波器.....(309)	
二、多线示波器.....(309)	
(一) 开关转换法.....(309)	
(二) V-T调辉法.....(310)	
(三) 实例——BYS-11型四线示波器.....(312)	
三、记忆示波器.....(314)	

(一) 结构方框图.....(315)	
(二) 工作原理.....(315)	
思考题(324)	
习题(325)	

第六章 自动监护系统

§ 6-1 概述.....(326)	
§ 6-2 监护系统的种类、构成及要求.....(326)	
一、监护系统的种类.....(326)	
二、构成监护系统的方框原理图.....(327)	
(一) 换能器.....(327)	
(二) 信号的模拟处理.....(327)	
(三) 信号的数字处理.....(328)	
(四) 信号的显示、记录和报警.....(328)	
三、对构成系统仪器的几个要求.....(328)	
§ 6-3 血压检测.....(328)	
一、直接法测量血压.....(328)	
(一) 直接在导管端部装有压力换能器.....(328)	
(二) 通过水柱把血压经导管引出.....(329)	
二、间接法测量血压.....(330)	
(一) 利用柯氏音测血压.....(330)	
(二) 采用双脉带法(亦称相位差法)测血压.....(334)	
(三) 采用多普勒超声原理测血压.....(335)	
§ 6-4 心电检测.....(336)	
一、QRS波的识别.....(336)	
(一) QRS检出器的电路结构.....(337)	
(二) QRS检出器的电路工作原理.....(337)	
二、心率的计量.....(341)	
(一) 瞬时心率计量.....(341)	
(二) 平均心率计量.....(347)	
三、心电监护仪框图.....(349)	
§ 6-5 分娩监护.....(350)	
一、胎儿心率的计量.....(350)	
(一) 获取胎儿心率信息的方法.....(350)	
(二) 胎儿心率信息的处理——计量胎儿心率.....(352)	
二、产妇阵痛的检测.....(359)	
(一) 腹壁压的测定.....(359)	
(二) 腹肌柔度测定法.....(360)	
§ 6-6 呼吸检测.....(361)	
一、呼吸次数的计测.....(361)	
(一) 用热敏电阻的方法.....(361)	

(二) 检查食道内压的方法.....(362)	二、数据压缩.....(372)
(三) 根据中心静脉压的检测方法...(362)	(一) 转折点算法.....(372)
(四) 肺的阻抗呼吸量图法.....(362)	(二) AZTEC算法.....(373)
(五) 检测由呼吸引起的胸部的物理 变形的的方法.....(364)	三、波形识别.....(373)
(六) 呼吸流速仪的方法.....(365)	(一) 最简单的微分法(即两点求差 方法).....(375)
(七) 应用微波技术的非接触方法...(365)	(二) 三点中心差近似法.....(375)
二、呼吸模式的监视.....(366)	(三) 曲线拟合法.....(376)
§ 6-7 输液监护.....(366)	四、自动诊断.....(378)
一、方框图.....(367)	(一) 用R-R间隔作诊断.....(378)
二、工作原理.....(367)	(二) 按形态分类和分级报警.....(381)
§ 6-8 信号的数字处理、分析与诊断...(368)	(三) 趋势监视.....(382)
一、信号滤波.....(368)	思考题(382)
(一) 模拟滤波.....(368)	主要参考文献(383)
(二) 数字滤波.....(369)	