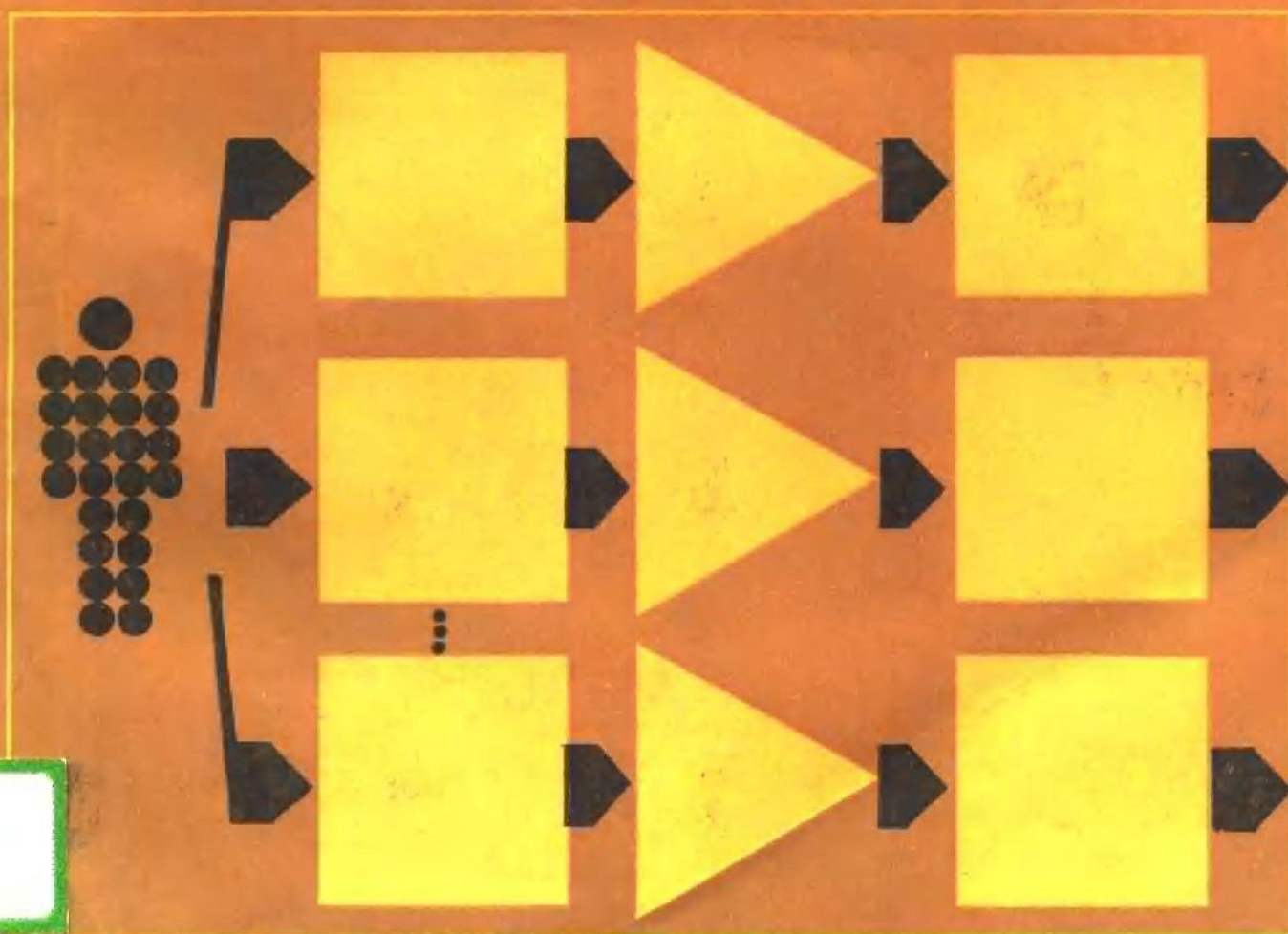


● 高等学校试用教材 ● 王保华主编

生物医学

电子学



● SHENGWU YIXUE DIANZIXUE

● 高等教育出版社

内 容 简 介

本书主要介绍生物医学中的电子学方法,包括生理信号的检测、放大、处理、变换、显示与记录等。本书涉及
的电子电路以半导体集成电路为主,注重新型、实用及通用性,注意理论联系实际。各章附有思考题及习题。

本书经国家教委生物医学工程及仪器专业教材委员会评审,同意作为高等学校生物医学工程及仪器专业的
教材出版。本教材也可作为电子类专业的选修课教学用书。本书还适合作为工程技术人员、研究人员及医务工
作者的自学参考书。

本书责任编辑 姚玉洁

高等学校试用教材
生物医学电子学
王保华 主编

高等教育出版社出版
新华书店北京发行所发行
四川省金堂新华印刷厂印装

开本 787×1092 1/16 印张 25.75 字数 590 000

1988年10月第1版 1988年11月第1次印刷

印数 0 001—1 660

ISBN 7-04-000629-4/TM·48

定价6.20元

前 言

生物医学工程在我国的兴起还只是近十年的事。在近十年中我国许多高等学校都陆续建立了生物医学工程、生物医学仪器、医学电子工程、医学电子学、临床医学工程等专业,后经国家教育委员会统一为生物医学工程及仪器专业。由于生物医学工程是一门新兴的边缘学科,多学科的交叉势必不同于某些较经典的学科,它既不同于生物医学,也不纯属一门工程学科,而且它涉及到其他工程学科的面之广,也是罕见的,这一特点不单给制订生物医学工程专业的教学计划带来了困难,而且在怎样建立一门课程的问题上,也是各持己见、众说纷纭,这就是多少年来,我国各大学生物医学工程专业的教学计划及教材五花八门的原因。

1983年国家教育委员会成立生物医学工程及仪器专业教材委员会。该委员会举行了数次全体委员会会议,研究本专业的教材编写问题。经反复研究,从本专业的培养目标出发,求同存异,确定了“生物医学电子学”、“医学仪器”、“生物医学信号处理”及“医学图象处理”、“微处理机在医学仪器中的应用”、“计算机软件基础及体系结构”、“生理学(工科院校用)”、“定量生理学(暂名)”等八门课程统一编写教材,并制定了这些课程的基本要求。在各校编写教材的基础上,经有关专家评议及教材委员会的评审,决定由高等教育出版社陆续出版上述教材,以供各校生物医学工程及仪器专业使用。

“生物医学电子学”课程设置的目的是:将生物医学中的电子学方法及技术在一定程度上进行集中,以与前期课程——“普通电子学(模拟及数字电路)”、“信号与系统”相衔接,并为“医学仪器”、“生物医学信号处理”、“医学图象处理”等有关课程打下一定的基础。根据教材委员会的建议,本教材确定将生物医学工程及仪器中带有共性的电子学方法及电路作为重点,着重讲解这一领域中的信号处理、信号变换、信号检测以及显示与记录等通用方法,并介绍这些方法在生物医学中的某些实际应用。

本书的第一章叙述了生物医学电子学的发展历史,扼要地介绍了生物医学中的电子学方法,并讨论了电子学应用于生物医学领域时的某些制约因素。本章较详细地介绍发展历史的目的是启示学生某些发明创造的时代背景及新思想方法的由来。介绍生物医学电子学方法,主要是引导读者初步熟悉电子学在生物医学测量仪器(诸如心电图机、心脏起搏器等常见的诊断与治疗仪器)中的原理与应用;了解各种物理能在医学中的应用;并介绍遥测与动物跟踪技术、电子控制及生物反馈系统、各类成象方法、超声诊断与治疗、病房监护系统、自动生化分析以及人工视觉和人工听觉中的电子学方法与技术等。

考虑到生物医学工程及仪器专业的学生在前期课程中未能涉及高频电子电路以及各类模拟集成电路的应用,而这一部分内容在一些医学仪器中,尤其是各类医学超声仪器及生物医学遥测、遥控技术中有着广泛的应用,因此本教材用了一定的篇幅在第二章及第三章中从信号处理与信号变换的角度来引入上述内容。第二章侧重讨论集成运算放大器、集成模拟乘法器等集成电

路在生理参数测量、信号放大、信号滤波、信号运算、非线性处理中的应用。第三章侧重讨论集成电路、集成函数发生器、集成模/数转换器及集成数/模转换器等在电压-频率变换、频率变换、波形变换、数/模转换及模/数转换等方面的应用。某些学校或某些专业的学生可能对这些电路已有较多的了解,但从生物医学应用角度考虑仍有助于他们所学知识的深化。

第四章讨论的信号检测及第五章讨论的信号显示与记录是各类生物医学仪器的共性问题。

第四章从力学量(位移、压力等)检测、温度检测、化学量检测、放射量检测、生物电位检测、光电检测法以及超声检测法等基本检测原理与方法着手,讨论生物电位测量电极与各类生物医学传感器的原理、组成与应用,并侧重介绍电参数传感器(变阻式、变电容式和变电感式等)、温度传感器(热敏电阻、热电偶等)、压电传感器、光电传感器及生物电位测量电极的传感原理,对发展中的各种化学及生物传感器也作了一定的介绍。本课程根据教材委员会制定的基本要求,不涉及传感器的设计问题,有关传感器的设计内容各校可根据各自的需要进行补充或另设选修课。

第五章所讨论的信号显示与记录,涉及到方法与仪器,由于大多数生物医学信号频率很低,因此大部分生物医学用的信号显示及记录装置,其频率响应一般在低频及超低频范围内。用于生物医学测量的记录与显示装置常见的有描笔式和喷笔式纸带记录仪、X-Y记录仪、磁带记录仪、光线示波器、热敏点阵式记录仪、发光二极管(LED)显示、阴极射线示波器(CRT)显示、数字存储示波器等。在带有微型计算机的医学仪器中,可在示波屏幕上同时显示实时波形、图象、数据和各种字符,也可采用照相或复印技术记录某一瞬时的图象、波形与数据。本章侧重讨论各类显示与记录方式及仪器的工作原理。

作为信号的检测、处理、变换、显示与记录的综合运用,第六章讨论了生物医学中的遥测技术,这一章着重介绍模拟遥测及数字遥测体制,频分制及时分制多路复用技术,有线、无线及存储遥测方式。考虑到第三章仅讨论频率变换问题,而对于无线电遥测中的其他组成单元未曾涉及,故本章分别在遥测发射机及接收机中介绍了高频功率放大器及高频电压放大器、天线、接收机辅助电路(自动增益控制AGC及自动频率微调AFC等),具备了这些知识后,读者就能较方便地分析各类无线电遥测仪器及超声仪器的电路。植入体内的遥测方式近年来受到世界各国的重视,一方面是科学技术的进步,使众多的微电子电路、新型生物材料及能源进入体内已成可能,另一方面也是由于人们由“表”及“里”的研究需要、各类人工器官发展的需要。目前植入式电子学(埋藏电子学)已成为生物医学电子学中的一个重要方面,应用植入电子装置测量人体内部的生理、生化参数,一般采用无线遥测方式,这种测量方法可使被测对象处在无拘束状态,便于研究自然状态下的生理特征,同时也为对动物及人体进行连续跟踪测量创造了前提。

由于生物医学电子学所涉及的内容很广、跨度很大,所以本课程只能作为生物医学工程及仪器专业的一门重要的专业基础课。本课程涉及到的许多专业知识在一定程度上反映了电子学在生物医学领域中的应用,但鉴于本课程教学基本要求的规定,这些应用实例也仅仅作为本专业学生学习后续专业课的引子。

各校各专业在选用本教材时,应根据具体情况对内容进行增删。本教材可供生物医学工程及仪器专业作为一学期64学时至96学时的教材。每章的学时数可参照表1。本课程应有相应的实验或课程设计相配合,书末提出了共二十一个实验项目,各校可根据自身的条件选择,并拟

表 1 各章的学时分配

章 次	学时数	实 验	学时数
第一章	4~8	实验 1~2 选一	3
第二章	12~16	实验 3~6 选二	6
第三章	14~20	实验 7~10 选一	3
第四章	14~22	实验11~16 选二	6
第五章	8~14	实验17~18 选一	3
第六章	12~16	实验19~21 选一	3
总 计	64~96	实验课时数总计	24

定相应的实验指示书。对于非生物医学工程及仪器专业的其他电类专业,例如无线电、自动化、仪器及仪表、计算机等专业来说,本课程作为一门选修课将会引起学生广泛的兴趣,有助于他们拓宽知识面,寻找学科间的交叉与渗透。对于生物医学工程领域的其他非电专业分支,诸如生物材料、生物力学、人工器官等学科的大学生及研究生来说,本教材有助于他们熟悉生物医学电子学的领域,寻求共同语言,拓宽思路。对正在参加与生物医学工程及仪器有关工作的科研工作者、工程设计人员、医务工作者来说,他们也可以在本书中得到许多有参考价值的东西。

在编写本教材时,作者参阅了国内外有关的教材与讲义,并注意从我国实际出发,总结我国近年来在生物医学电子学的成就。本书提及的医学应用实例及电路,很多选自学校、工厂及研究所近年来研制的新产品,以及选自国内主要杂志,尤其是《医疗器械》等杂志刊登的文章。

上海大学工学院无线电系傅雅珠同志参加了本教材信号处理及信号变换部分的编写工作。上海科技大学无线电系傅丰钰同志编写了信号显示与记录部分,上海科技大学生物医学工程专业的许多教师与研究生亦提供了许多资料与实际帮助。

浙江大学、上海交通大学、西安交通大学、清华大学、复旦大学、天津大学、南京工学院、华中工学院、上海第二医科大学、西安医科大学等高等院校的有关同志参加了本书的审稿会议,对本书提出了许多宝贵意见。

担任本书主审的是西安交通大学郑崇勋副教授。中国生物医学电子学会主任委员蒋大宗教授对本书的编写进行了多方面的指导与帮助。

编者对上述为本教材作出贡献的同志表示深切的谢意。

由于生物医学电子学的界面不很清楚,加上某些方法与技术仍在不断发展之中,所以本书肯定存在不少缺点乃至错误。编者热忱希望广大读者,尤其是使用本教材的教师及学生,批评指正,使本教材的内容不断完善。

编 者

1987年10月

目 录

第一章 生物医学电子学概论..... 1	
1-1 引言 1	
一、研究范围..... 1	
二、发展简史..... 1	
1-2 生物医学中的电子学方法 7	
一、生物医学测量、诊断及监护 中的电子学方法 7	
1. 心电图机 7	
2. 脑电图机 10	
3. 肌电图机 11	
4. 视网膜电图、眼电图及眼震电图机 13	
5. 非生物电量的测量 13	
6. 二维及多维人体信息测量及其在 某些疾病诊断中的应用 14	
7. 监护系统 15	
8. 遥测与野生动物跟踪 16	
9. 离体测量与分析 17	
二、电子学应用于疾病治疗及人 体功能辅助 17	
1. 刺激器与心脏起搏器 18	
2. 物理能的应用——理疗法 20	
3. 电子控制系统与电子生物反馈技术 22	
4. 人工视觉与人工听觉 24	
1-3 电子学在医学应用中的制 约 26	
一、安全性的制约 26	
二、干扰与噪声的制约 27	
1-4 本课程的目的与任务 34	
复习思考题及习题(一) 35	
第二章 信号处理..... 38	
2-1 引言 38	
2-2 生理参数测量放大器 40	
一、几个基本要求 40	
二、几种典型的生理参数测量放 大器 43	
1. 差动式生物电前置放大器 43	
2. 反相分压反馈型放大器 46	
3. 含增益控制的放大器 46	
4. 频率补偿型放大器 49	
5. 可消除信号中的直流电位的放大器 50	
6. 桥路放大器 51	
7. 光隔离式放大器 54	
8. 具有共模负反馈的前置放大器 56	
9. 调制(斩波稳零)型放大器 58	
10. 微电极放大器 62	
2-3 信号运算 64	
一、微分器与积分器 64	
1. 微分器 64	
2. 积分器 66	
二、乘法器 68	
1. 对数-反对数式乘法器 68	
2. 变跨导式乘法器 70	
3. 模拟乘法器实际电路 73	
4. 除法器 77	
5. 平方器与开方器 77	
6. 特定函数电路 78	
三、医学应用 78	
2-4 滤波 79	
一、引言 79	
二、有源滤波器的传输特性 82	
1. 一阶有源滤波器的传输特性 82	
2. 二阶有源滤波器的传输特性 83	
三、无限增益多反馈环型有源滤波 器 84	
1. 二阶低通滤波器 85	
2. 二阶高通滤波器 86	
3. 二阶带通滤波器 87	
四、压控电压源(VCVS)型滤波器 88	

1. 二阶低通滤波器	89	1. 用二极管折线近似电路作三角波- 正弦波变换	138
2. 二阶高通滤波器	90	2. 用模拟近似计算法作三角波-正弦 波变换	139
3. 二阶带通滤波器	90	3. 用积分器(低通滤波器)作三角波- 正弦波变换	140
五、有源滤波器的几种常见设计 方法	91	4. 利用元器件的非线性实现三角波- 正弦波变换	140
1. 用公式计算电路参数	92	二、5 G 1555——单片集成定时 电路	141
2. 用图表设计	92	三、5 G 8038——单片精密函数 波形发生器	145
六、状态可调节的有源滤波器	101	3-4 交流-直流(AC-DC)变换与 直流-直流(DC-DC)变换	147
七、压控滤波器	104	一、交流-直流(AC-DC)变换器	147
八、数控滤波器	104	二、直流-直流(DC-DC)变换器	149
九、有源带阻滤波器(有源陷波 器)	105	3-5 电压-频率变换(VFC)与频 率-电压变换(FVC)	149
十、有源滤波器在生物医学信号 处理中的应用举例	110	一、电压-频率变换(VFC)	149
2-5 非线性处理	113	1. 无稳态多谐振荡器式 VFC	150
一、对数放大器	113	2. 恢复型 VFC	152
二、电压比较器	114	3. 反馈式 VFC	155
1. 单限比较器	115	二、频率-电压变换(FVC)	156
2. 迟滞比较器	117	3-6 数字量/模拟量转换(DAC) 与模拟量/数字量转换 (ADC)	160
3. 窗口比较器	118	一、数字/模拟转换器(DAC)	160
4. 斜率比较器	120	二、模拟/数字转换器(ADC)	165
三、限幅放大器	120	1. 逐次逼近比较式 ADC	165
四、死区电路	122	2. V-T型双积分式 ADC	168
五、采样-保持(S/H)电路及峰值 保持电路	124	3. ADC 0801 系列单片集成模/数转 换器	170
1. 采样-保持电路	124	3-7 变频、倍频与分频	173
2. 峰值保持电路	126	一、混频器	174
复习思考题及习题(二)	127	1. 晶体管混频器	174
第三章 信号变换	134	2. 乘积型混频器	176
3-1 引言	134	二、倍频器	177
3-2 电压-电流变换器(VCC)和电 流-电压变换器(CVC)	134	三、分频器	179
一、电压-电流变换器(VCC)	134	3-8 正弦载波信号的调制及解调	180
1. 负载浮地型电压-电流变换器	135		
2. 负载接地型电压-电流变换器	136		
二、电流-电压变换器(CVC)	137		
3-3 波形变换——集成时基电路 及集成函数发生器	137		
一、三角波-正弦波变换方法	137		

一、引言	180	1. 电位器传感器	225
二、幅度调制及解调	181	2. 电阻应变片	226
1. 节约功率——载波抑制	182	3. 检测电路	228
2. 频带压缩——单边带传输	183	4. 其他检测方法	232
三、频率调制	186	二、电容传感器	232
1. 直接调频	189	1. 工作原理	233
2. 间接调频	191	2. 检测电路	235
四、鉴频器	194	三、电感传感器	238
1. 振幅鉴频器	195	1. 单线圈式及双线圈式电感传感器	238
2. 相位鉴频器	196	2. 差动变压器	240
3. 比例鉴频器	197	3. 采用电感传感器的检测电路	241
4. 脉冲平均值鉴频器	199	4-3 温度检测	244
5. 集成模拟乘法器用来鉴相和鉴频	200	一、热敏电阻	244
6. 调频负反馈解调	201	二、PN 结测温	246
7. 锁相鉴频器	202	三、热电偶测温	247
五、单片集成锁相环路(PLL)BGJ 565	203	1. 均质导体定律	248
.....	203	2. 中间导体定律	248
六、ULN-2204 A——单片调频		3. 中间温度定律	248
调幅集成电路	203	四、辐射测温法	249
3-9 脉冲调制及解调	209	五、在体表检测深部体温的方法	
一、脉冲振幅调制(PAM)	209	——热流补偿法	250
二、脉冲宽度调制(PWM、PDM)	210	4-4 光电检测法	251
.....	210	一、光电传感器	251
三、脉冲位置调制(PPM)	211	1. 光敏电阻	251
四、PAM、PWM(PDM)及PPM		2. 光敏二极管和光敏三极管	252
的解调	212	3. 光电池	252
3-10 脉冲编码调制(PCM)	213	4. 光电管和光电倍增管	253
一、量化	213	二、光电传感器的测量电路	254
二、编码	214	三、光源	254
三、数字信号的传输	215	四、光纤传感器	255
1. 振幅键控(ASK)	215	五、光电传感器在生物医学中的	
2. 频率键控(FSK)	215	应用举例	256
3. 相位键控(PSK)	216	1. 光电容积描记	256
四、增量调制(ΔM)	217	2. 气体成分分析	257
复习思考题及习题(三)	218	4-5 超声检测法	258
第四章 信号检测	222	一、超声检测原理	258
4-1 引言	222	二、超声换能器	261
4-2 力学量(位移、压力等)的检测	224	三、生物医学中的超声检测技术	263
一、电阻传感器	225	1. 距离(位置)信息的检测	263

2. 体内运动信息的检测	267	5-4 记录仪	313
3. 距离信息与运动信息的同时提取		一、描记式记录	313
——脉冲超声多普勒法	273	1. 描笔记录仪	314
4-6 放射量检测	273	2. 喷笔式记录仪	317
4-7 生物电检测	277	3. 光线示波器	318
一、引导电极的种类	277	4. X-Y记录仪	320
二、几个基本概念	278	二、点阵式记录仪	322
1. 电极的换能作用	278	5-5 磁带记录仪	325
2. 半电池电位	278	一、直流偏磁与交流偏磁方式	326
3. 电极的极化与电极电位	278	二、信号调制记录方式	328
三、电极的电性能与等效电路	279	三、数字式磁带记录仪	329
四、微电极及其等效电路	281	复习思考题及习题(五)	329
4-8 化学量的检测	283	第六章 生物医学遥测技术	330
一、pH值的测定——pH电极	283	6-1 引言	330
二、氧分压(P_{O_2})的测定——氧电		一、重要历史事件	330
极	284	二、遥测系统的分类方法	330
三、二氧化碳分压(P_{CO_2})的测定		三、遥测系统的组成	332
—— P_{CO_2} 电极	284	四、遥测在生物医学中的应用	333
4-9 人体多维(图象)信息的检测	285	五、生物医学遥测系统的技术指	
一、电视传感器	285	标	334
二、光电导摄像管和微光摄像管	286	6-2 多路复用技术	335
三、医学电视系统	288	一、频分法多路复用技术	335
1. 可见光电视系统	288	二、时分法多路复用技术	337
2. 可见光电视系统的医学应用	292	6-3 无线电遥测发射机	341
3. 非可见光医用电视	295	一、对遥测发射机的主要要求	342
4. 其他成象方式——计算机断层扫		二、高频(谐振)功率放大器	342
描装置	299	6-4 无线电遥测接收机	346
复习思考题及习题(四)	300	一、遥测接收机的主要技术指标	346
第五章 信号的显示与记录	303	二、高频(谐振)电压放大器	348
5-1 引言	303	三、附加电路	352
5-2 阵列式显示及CRT字符显示	303	1. 自动增益控制	352
一、阵列式显示器	303	2. 自动频率微调	354
二、CRT字符显示器	306	3. 预加重与去加重网络	355
5-3 数字存储示波器	308	6-5 无线电遥测用天线	356
一、数据采集部分	308	一、天线类型	356
二、显示部分	309	二、天线的性能指标	356
1. 垂直光栅显示方式	309	三、天线结构	358
2. 电视扫描显示	312	6-6 模拟式遥测系统	359
3. 随机偏转显示方式	312		

一、双调频(FM-FM)单路心电图遥测系统	360	三、超声遥测	374
二、PDM-FM多路生物学遥测系统	363	四、存储遥测	376
6-7 数字式遥测系统	365	6-9 植入体内的遥测系统	377
一、一般方框图	365	一、引言	377
二、编码器与译码器	366	二、要求	378
三、医学应用实例	369	三、吞服式无线电遥测胶囊	380
1. 巡回数字式遥测系统	369	四、固定植入式遥测系统举例	382
2. 多路生理信号传输PCM调制器与解调器	370	1. 颅内压遥测	382
6-8 传输方式	371	2. 植入式超声血流遥测装置	383
一、无线电遥测	372	3. 植入式多道生理遥测	384
二、有线遥测	373	复习思考题及习题(六)	386
		生物医学电子学实验目录	387
		参考书及参考文献	388
		常用生物医学电子学汉英名词对照	389

第一章 生物医学电子学概论

1-1 引言

一、研究范围

生物医学工程(Bio-Medical Engineering, FME)是一个飞速发展的新兴边缘学科。它是生物学、医学与工程科学相结合、相互渗透的产物。在医学方面,与生物医学工程相关的学科有基础医学(生理学、解剖学等)、临床医学(内科学、外科学等)、社会医学(公共卫生学、法医学等)以及运动生理、劳动保护等领域。在工程科学方面,与生物医学工程相关的学科已遍及整个工程科学的各个领域,特别是电子工程、机械工程、材料工程、系统工程及信息工程等学科。生物医学与工程学相结合后形成的生物医学工程学,包括生物医学测量与仪器、医学信息处理、人体模型、工程科学在生物医学中的应用及疾病的早期发现、正确诊断与治疗等许多方面。另外,人体本身是一个极其复杂的机构,其信息处理能力、记忆功能、体内的能量转换、体内的反馈调节与自动控制等功能,都是工程科学的良好范本,人体科学的研究反过来又将推动工程科学的发展。

目前,生物医学工程学科的内容在大的方面包括生物医学电子学、生物力学、生物材料与人工器官、生物控制与人体模型、仿生学及机器人学等,其中生物医学电子学是工程学应用于医学领域的先行学科,并在生物医学工程的整个发展历程中始终占据主导地位。随着电子科学技术的发展,尤其近年来半导体集成电路、电子计算机及新型物理能(超声、微波、红外、激光、放射线、核能)的广泛利用,各类生物材料的涌现,控制理论的日趋完善,医学基础及临床应用研究范围的日益扩大,使各种生物医学电子仪器与系统已成为诊断、治疗与研究的重要手段。伴随着外科手术(尤其是显微外科)的不断提高,电子装置已越来越多地植入人体内部,使机器代行或辅助人体的部分功能,在这一方面,各类人工器官及其辅助装置就是典型的代表。另一方面,在人体本身的信号传输、记忆、处理与控制功能的模拟(仿真)技术基础上发展起来的仿生学,尤其是机器人学中,电子技术尤其是电子计算机也占有特殊重要的地位。

二、发展简史

生物医学电子学及一些生物医学测量方法与技术的发展历史可追溯到18世纪。意大利神经生理学家伽尔伐尼由观察蛙的神经肌肉收缩现象,建立了生物电的理论。生物电奥秘的揭示,开拓了神经肌肉生理学和整个电生理学的研究道路。

1733年,英国牧师 S.Hales 作了第一个血压测量的实验。

1768年,法国著名医生库斯莫尔着手研制“硬管式内窥镜”。试验虽失败了,但他的思想为后人发明内窥镜奠定了基础。

18世纪90年代,一个名叫Volta的人,首先研究用电刺激的方法产生听觉。他将金属杆插入边侧外耳道内,再用30~40只电池组装成约50V的电源连接在外耳道的金属杆上,受试者在通电后除头部感到被冲击外,耳内还听到了音响声。

1819年,法国医生laennec发明听诊器。他采用几张纸卷成一个圆筒,一端放在受试者的胸部,一端靠着他的耳朵,这种“间接听诊”法取得了成功,经进一步改进,最后制成了听诊器(stethoscope)。这个听诊器的原理,现在仍被沿用着,不过现在的听诊器已经包括拾音器、导管和耳塞三个组成部分。

1868年,Brenner氏系统地作了电刺激听觉器官的研究,他将电极置入充有盐水的外耳道内进行,他通过试验认为,电刺激有可能作为耳疾的诊断与治疗的手段,并认为电刺激产生的声音听觉,是刺激第八脑神经的结果。

早在1857年,人们已认识了人类细胞中的染色体。而且发现癌细胞与几乎所有遗传性疾病,无不与染色体畸变有关,目前已制成了染色体的显象及自动分类装置,作为优生学研究的重要手段。

1869年,法国的Marey, M.进行了生物医学遥测史上有记载的第一个成功试验。他为了研究鸟类飞行,将一个叶片开关装在鸽的翅尖上,并用一根长导线连接到电磁测量系统,再推动笔尖,在记纹鼓上记下了鸽翅的拍打信息。

1875年发明电话的Bell氏证明了声音的振动能够转换成电脉冲,反过来,电脉冲也可转换成声音振动。利用这一发现,1896年,Beauregard和Dupreg氏两人用蛙作试验证明:听神经中有电流存在,用噪声刺激蛙耳时,连接听神经的电流计中能显示出电流(生物电)。

1889年,A. C. Waller首先提出了心脏的电偶极子模型。他认为身体表面测量的某点电位,只不过是电偶极子矢量在该特定方向上的瞬时投影,当偶极子矢量的投影随时间变化时,该点的电位也随之而变。

1895年,德国物理学家W. C. 伦琴在实验室研究阴极射线时,偶然发现了X射线。并为他的妻子的手拍摄了有史以来第一张X射线的透视照片,从而开创了放射诊断学的新纪元。

发现X射线后不久,1896年在法国,科学家贝克勒耳在研究“日光能使某些矿石发出X射线”这一假说时,发现了矿石本身具有天然的放射性。这个发现为他1905年获得诺贝尔奖金铺平了道路。

1898年到1904年,在天然放射性物质发现不久,居里夫人和她的丈夫皮埃尔(pierre)首次从轴矿中分离出强有力的放射性元素镭。镭在医学上作为癌症治疗的物质起过很重要的作用。随后不久,放射性研究人员发现,某些天然元素,主要是重元素,它们的核不稳定,会衰变而放射出三种不同的射线: α 射线、 β 射线和 γ 射线。 γ 射线具有很强的贯穿能力,因而体内的具有放射 γ 射线能力的放射性元素,能在体外用 γ 射线检测仪来检测。一些天然性放射元素在医学上一直作为“示迹”物质加以利用,这大大地推动了放射医学的发展。

1875年,发现了脑的生物电现象。但当时发现的主要是脑的直流电位,直到1921年才成功

地引出脑的交流电位。1929年 H. Berger 观察到了脑活动的电信号,但这种脑电图的真正临床应用还是在第二次世界大战以后的事。

1903年,著名的心电图之父 William Einthoven 根据前人的许多研究成果,制成了第一部用于记录心脏电位的心电图机。这一年,他用弦线检流计经过电话线记录了一英里外的心电图。首创了心电图的有线遥测。W. Einthoven 也同时倡导了心电导联方式,三个导联分别称为 I、II、III 标准肢导联。

19世纪末 Roy 和 Brown 第一次报导了在青蛙身上作的毛细血管压力的测量。他们用一个可膨胀的膜,以已知的压力将它作用于组织上,借助显微镜观察流过毛细血管的血流状态,他们将血流刚好停止的膜压,作为毛细管的压力。

20世纪以来,生物医学电子学的研究工作进入了一个旺盛的时期。心脏起搏器是一个典型的代表。1932年海曼(Hyman)阐明了心脏起搏器的基本应用原理,1952年 Zoll 将体外心脏起搏器引入至医学临床,1958年开始采用植入式心脏起搏器进行长期调节治疗。心脏起搏器开始只能应用于完全性房室传导阻滞伴阿斯综合症,而现在的永久性心脏起搏器已用于多种心律失常的治疗,包括病态窦房结综合症、II度房室传导阻滞、间歇性心脏传导阻滞及某些快速心律失常等病例。1972年, Codis 公司首次采用低功耗的 CMOS 电路而开发程序控制的起搏器后,给起搏器的发展又增加了新的推动力,起搏器使用锂电池后,寿命已高达十年以上。

超声诊断在20世纪也得到了飞速的发展。1942年 Dussik, K. 首先利用穿透式超声波研究颅内的透过情况。1950年, Wildj 与 Frenchla 等开始用脉冲反射法超声(即A型超声)诊断仪研究颅脑疾病,这是超声诊断的临床应用的开端。1952年, Howry, D. H. 用B型法作超声显象的研究。1954年 Edler 及 Hertz, C. H. 在A型超声诊断仪的基础上发展成超声心动图仪,1957年里村茂夫根据超声多普勒(Doppler)效应原理,首先研制成医学超声仪器,并报导了用该仪器在体外测定血管内的血流信息的情况。1971年 Bom, N. 首先报导了电子扫描多探头(晶体)显象系统在诊断心脏疾病中的应用。1972年 Rettermaier, Ge. 应用双探头快速旋转式B型超声诊断仪作快速成象。目前由于相控阵技术的应用,以及电子计算机运用于图象处理、控制的发展,B型超声诊断仪已经作为具备自动、多功能、高分辨力等性能的临床诊断仪器而引起广泛的重视。

20世纪以来,在生物医学遥测的历史上,要写上瑞典的 Jacobson 和美国的 Mackay 的名字,他们研制成微型无线电药丸,这种状如弹丸的“药丸”,可由患者吞服,并将体内消化道系统内的温度、压力、酶活性、pH 值、出血情况等通过无线电波向体外发送,在体外用无线电接收机接收并进行记录。随后世界各国又发展了多种植入体内的遥测装置,并进行了一系列科学试验。1963年 Holter 采用了存储遥测方式,他将24小时的心电图记录在小型磁记录装置中,然后送至中心地将记录的心电图快速回放,并用计算机分析处理。1957年苏联利用人造卫星中的遥测系统对狗进行宇宙空间的动物生理的研究,以后人们又用卫星装置作为跟踪稀有的大型野生动物的中继站。

20世纪以来,由于电生理仪器的不断发展及外科手术的不断提高,听觉与视觉的研究有了进一步的发展。1930年, Wever 和 Bray 用猫作试验,将电极插在猫的听神经上对猫讲话,结果从这根电极引出并经放大后的信号,复现了语言频率的波形,这证明了这是听觉终端器官的生物

电位,即验证了耳蜗微音效应,从而明确了耳蜗的功能是一个换能器,它可以把声能转换成电能,并以相对不变的形式经过听神经传至听觉中枢,从而产生听觉。这就为“人工听觉”的设想奠定了基础。1957年法国的 Djourno 和 Eyries 首先采用电极直接刺激全聋病人听神经而产生听觉,他们在病人的一侧颞肌中埋植了一个诱导线圈,将与线圈相连的一根绝缘电极头,置于前次手术时暴露的听神经上,另一导线也埋植在颞肌中作为参考电极,用在颞肌外的另一线圈在皮肤外耦合去活化移植的电极,并刺激听神经,以便产生听觉。术后三天,在外边的一个线圈上接上了一个电膈刺激器(Electrophrenic-stimulator)来产生 100 Hz 的脉冲信号,每分钟作 20 次,结果病人听到了声音,并能听出一定的语言韵律。经过训练后可辨别出几个简单字的差别。1970年,美国医生 House 氏将一个六根线的电子装置植入 39 岁男性聋人的耳蜗中,采用多极硬线系统,术后听谈话的能力增强,音质改善。1972年人们研究用配戴携带式刺激器的办法改善全聋患者的听力,据报导,具有这种装置的耳聋患者“能与爱人用电话筒讲简单的话”,从而使该项研究工作获得了满意的进展。

在有关视皮层直接显象的研究中,有几个重要的历史事件。首次的研究是在 1962 年进行的,这次试验中,在患者的大脑枕叶表面植入电极,通过导线与光电池相连,当有光电刺激时,便会产生闪光感。1967年英国生理学家 Brindley 在动物试验的基础上,进行了人类大脑视皮层植入电极阵的试验。他采用共有 80 个网格状的铂片电极,每个电极的直径为 0.8cm,附在硅板上,每秒发射 100 次脉冲,每次时间为 200 μ s,电极用导线与颅骨外头皮下一组电信号接收器相连,视皮层受到刺激后,在 80 个电极中 37 个能产生光点,使盲人辨出简单图形。在 1973 年,在美国作了一次视皮层直接显象的试验,一个由 Dobbelle 和 Madjo 所领导的研究组,在盲人视皮层植入镶在特氟隆(Teflon)里的 64 个铂丝电极,电极连接到一根通过头皮小缝的电缆,此电缆与电子计算机相连,作信号预处理,用一个电视屏以描绘出盲人所看的東西。另有一刺激器给电极以约 3 mA 的微弱脉冲电流,观察者通过刺激电极,询问盲者在什么地方看见光点,并设法在一个电视屏上描绘出光幻视“图”。盲人于发出视信号后,用光笔指出在电视屏上的光幻视图的光点,当刺激盲人大脑皮层的相应电极,“绘”以圆形、三角形和字母时,盲人能辨认出所绘的形状和字体。

20 世纪 40 年代末期,以电子技术为先导的整个工程技术开始陆续涌向医学领域,使生物医学与工程技术纵横交叉,使生物医学的研究方法、诊断与治疗的手段出现了一个崭新的局面。

40 年代,核医学工作者研究线性扫描,在人体不同部位上面,移动着一个不很灵敏的盖革计数器,得到了一个粗略的放射性分布,1950 年 Cassens 研制出第一台机械扫描机,或称直线扫描机,令直线扫描仪的 NaI 探测器在被诊断区域上作光栅图样式的移动,就可获得一张计数率的永久记录或人体中的放射性分布图。1956 年美国 H. Anger 发明 γ 照相机,它不需移动,就能形成图象,这在核医学成象史上是一个很重要的里程碑。

在医用内窥镜的研究方面,1932 年辛拉和华尔夫两人合作研制成功了一种半软半硬式的胃镜,内窥镜便进入比较实用的阶段。1950 年美国公开了在第二次世界大战期间作为绝密的军用工导纤维技术,利用这项技术,美国于 1957 年首先试制成功了第一台纤维光学内窥镜,使医用内窥镜发生了一次质的飞跃。

1962年国外开始建立危重病人监护系统(Intensive Care Unit, ICU)和冠心病自动监护系统(Coronary Care Unit, CCU)。应用CCU后,由于病人能连续监护,所以当病情出现异常时,监护系统能及时发出报警信号,并自动快速处理,因此大多数冠心病急症患者可免于突然死亡。采用CCU后,急性心肌梗塞病人的死亡率已由30~40%下降至12~15%,目前危重病人监护系统已大量普及,尤其是各类医学传感技术、微电子技术、医学信号处理技术及显示技术的发展,使监护系统向多功能、自动化的方向不断发展。

50年代,各国已经开始注重肌电电位及其应用的研究,其目的是为了研制肌电控制的假肢。1962年,肌电控制的假手在苏联初步做到实用化。1964年日本开始前臂电子假手的研究,1968年应用于临床,现已商品化。

电视技术早在40年代末开始应用于生物医学领域。应用现代电子技术的手段,通过各种光学的或非光学的成象方法,可把生物医学中的图象信息(如病人姿态、X射线图象、显微镜象、同位素扫描图象、指纹图象等)用图象、文字、符号在荧光屏上显示,使医务工作者在短时间内获取来自患者的各类信息,鼓舞了医学电视的设计者与应用者。60年代中期,英、美等国的医学院校中建立了生物医学电视学,借以提高教学效率。现在,各种医用电视,诸如X线电视、内窥镜电视、监视电视及各类医用图象处理技术已在现代化的医院中付诸实用。

60年代,电子计算机开始渗入到医学领域,尤其是1962年小型计算机出现后,应用更为广泛。50年代末,美国研制成专供生物医学基础研究、临床医疗及医院管理用的小型专用电子计算机,至今各类微型计算机、微处理器已广泛应用到生物医学检测、处理与控制等许多方面。计算机还可作为动态模拟的手段,近年来已用于模拟生物组织器官的功能,并用来研究人体内部条件变化的相互关系,这有利于认识和讨论一些复杂的生理、生化现象,从而加深对疾病的理解。

70年代,生物医学仪器已转向由全固体化电路组成。1971年转向大量采用大规模集成电路。医学仪器的集成电路化、功能组件化,大大提高了装置的可靠性,减小了体积与耗电量,使携带式及植入式医学仪器有了生机,加上微处理器及单片机的出现,各类生物医学仪器开始更新换代,使医学仪器趋向多功能、自动化与系统化。1959年,Brhubert、Pipberger研究成功采用模/数转换与计算机识别异常心电波型的计算机程序,利用这些程序可测量心电图的许多参数。这种方法,目前已经被广泛使用,作为心电图自动诊断,在判别异常心电及其类型方面起了很大的作用,用这种方法制成的专用仪器也已陆续问世。

计算机使得医学图象处理产生了质的飞跃,断层X线照相术虽然早在1930年就提出,但直到1971年时,由于计算机的发展才得以实现。1971年由Hounsfield发明的计算机断层装置(Computed Tomography, CT)的第一个原型机投入使用,这标志着由计算技术、重建数学与X线检测技术三位一体的高科学技术装置取得了重大突破,使X线的诊断技术产生了新的飞跃。自1974年至1977年期间,这种X-CT装置更新了四代,使这种诊断装置风靡世界,因为Hounsfield对医学诊断科学的这个贡献,他受到了多项奖励,其中包括1979年的诺贝尔医学奖。目前其他类型的CT装置,例如超声CT、NMR-CT都已陆续进入临床,成为现代化医院的重要标志之一。

医学分析仪器也由于计算机的发展而不断更新。1953年美国最早使用自动化学分析装置,这种装置的出现,使临床化学检查的精度得以提高,检查的时间缩短。近几年来,自动化学分析装置正不断地朝着多功能、连续分析以及多项同时测定的方向发展。

人工器官是综合性的医学工程技术的成果,它涉及到生物材料、自动控制、电子及计算技术等领域。1969年首先由Denton A. Cooley应用Liatta型全人工心脏植入人体,这种全人工心脏亦是用设置在床边的以计算机为基础的气体驱动装置来驱动控制的。至今人工心脏已有多例植入人体,并取得了进展。近数十年间,人工肾、人工胰也取得了许多成果,预计这些人工器官在不久的将来会有许多突破性的进展。

以上仅是生物医学电子学发展历史中有代表性的进展。由这些历史事件中,人们不难看出,生物医学电子学的研究,是一个综合研究课题,它依赖于对人体本身的认识,也依赖于工程科学的进步。虽然,目前由于科学技术的高度发展,已经使生物医学电子学进入了一个新的鼎盛时期,但鉴于目前人们对人体本身的研究尚“知之甚少”,随着生命科学研究的不断深入,将会有更多的研究课题出现,将会有更新的科学成就应用于人体。同时,生物医学工程,尤其是生物医学电子学的研究,也同样会给其他各类工程科学以新的启示以及强大的推动力,人们可以拭目以待。

我国生物医学电子学的发展较迟缓。直至40年代才开始研究电生理。解放前医学电子仪器完全依赖于国外,国内只有少量的维护及修配工作。解放后逐步形成了独立的医疗器械工业,开始研究或仿制国外的各种医用仪器和器械。70年代,我国已经能生产心电图机、X线诊断装置、各类手术器械、胃镜、人工肾及心脏起搏器等生物医学仪器及装置。70年代末期至80年代初期,生物医学电子学获得了飞速的发展。微电子技术、计算机技术、电视技术、超声、激光、微波、红外、放射线技术、医学成像及图象处理技术以及以心脏起搏器为代表的植入式电子装置等许多新技术和新仪器,已陆续渗透到生物医学的研究与临床。

我国已成功地研制成各类机械扫描及电子扫描式超声成像装置、超声胎儿监护仪、超声多普勒血流检测装置。

70年代,我国已利用国产仪器成功地记录了从世界最高峰——珠穆朗玛峰峰顶发回的心电图,促进了高山生理的研究。

我国已成功地研制了X线计算机断层装置(X-CT),并已投入医院使用。

电子技术(尤其是计算机)已作为重要的手段,正在用来研究祖国医学的经络学说和针灸机理,并已取得了许多研究成果。

人工心脏、人工胰脏、人工肺和人工肾等都已经取得或正在取得进展。电子控制假肢已经临床应用,并逐步商品化。

我国已经生产出各种病房监护仪器、新型的手术器械和激光、微波医学仪器。

我国已能生产多种类型的生物医学传感器和生物医学信号的记录装置。

1-2 生物医学中的电子学方法

生物医学电子学的发展历史虽不长,但由于近年来人们对人体科学研究的广泛兴趣,尤其是微电子技术的飞速发展,许多新的电子学方法,新的医学仪器,诸如电子计算机、红外技术、激光技术、微波技术、超声技术、光导纤维技术、遥测、遥控及遥感技术、光学成象及非光学成象技术、信号处理与图象处理的方法、电子显微技术、大规模集成电路技术、新型医学传感技术等,都大量地渗透到生物医学的基础研究、临床应用研究、诊断与治疗等各个方面。针对人体的循环系统、神经系统、呼吸系统、感觉系统的特点,以及临床各科室的实际需要,开发了大量的医学电子学方法与仪器,作为研究、诊断与治疗的手段。具有代表性的医学电子装置有:电生理仪器、心电图(Electrocardiogram, ECG)机、脑电图(Electroencephalogram, EEG)机、肌电图(Electromyogram, EMG)机、各类电刺激器和心脏起搏器、医用电视系统、超声诊断与治疗仪器、假肢控制装置、人工脏器、残废人辅助装置、病房监护系统、生化自动分析仪器等。电子学方法及仪器大量进入生物医学研究、临床诊断与治疗领域后,已成为现代医学的标志之一,在医学诊断与治疗的客观化与定量化方面,起了决定性的作用。

作为本课程的引导,本节将就生物医学测量、诊断、监护中的电子学方法以及电子学在治疗及功能辅助等方面的应用作一扼要的介绍。

一、生物医学测量、诊断及监护中的电子学方法

生物医学测量在生物医学的基础研究中起着十分重要的作用。人体是一个极为复杂的有机活体。人体内含有一种物理的、化学的以及生物信息,而且这些信息本身在不断变化着。采用电子学方法来替代或延伸人的视觉、听觉、触觉,以及对人体参数进行定量的测定,仅是人们为了解人体本身所追逐的目标,因为生物医学测量的困难,不仅仅决定于电子学本身。尽管如此,某些生物医学电子学测量方法,目前已经作为某些疾病的诊断、监护与治疗中的客观依据,并可用来作为探索与研究人体奥秘的重要手段。从这个意义来说,生物医学测量是整个生物医学工程研究中具有决定意义的重要领域之一。

图1-2-1给出了人体及其可被监测的主要动态生理活动的示意图。监测的手段一般采用电子学方法,测量的装置通常包括传感器(电极)、放大器与测量电路、显示器与记录仪三大部分。这三大部分的工作原理、电路与方法,将在后续各章中详细讨论。这里,重点介绍几种常见的生物医学测量仪器及若干人体参数的测量方法,有关这些仪器的设计问题,将放在后续课程解决。

1. 心电图机

心脏的每个心动周期所伴随的生物电变化,可传达到身体表面的各个部位。用测量电极在体表检测两个部位间的电位差,并经过放大后,可用记录仪进行记录体表电位差随时间的变化曲线,这曲线反映心脏兴奋的产生、传导和恢复过程中的生物电变化,通常称为心电图(Electro-