



国家卫生健康委员会“十三五”规划教材



教育部生物医学工程专业教学指导委员会“十三五”规划教材

BME

全国高等学校教材

供生物医学工程等专业用

生物医学工程实验 电子工程方向

主 编 李 刚



人民卫生出版社



国家卫生健康委员会“十三五”规划教材



教育部生物医学工程专业教学指导委员会“十三五”规划教材

BME

全国高等学校教材

供生物医学工程等专业用

生物医学工程实验 电子工程方向

主 编 李 刚

编 者 (按姓氏笔画排序)

王 焱 (辽宁工程技术大学)

王慧泉 (天津工业大学)

乔 文 (苏州大学)

李 刚 (天津大学)

陈瑞娟 (天津工业大学)

郝丽玲 (东北大学)



人民卫生出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

生物医学工程实验. 电子工程方向/李刚主编.

—北京:人民卫生出版社,2019

全国高等学校生物医学工程专业首轮“十三五”规划教材

ISBN 978-7-117-28424-0

I. ①生… II. ①李… III. ①生物医学工程-实验-高等学校-教材 IV. ①R318-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 072128 号

人卫智网 www.ipmph.com 医学教育、学术、考试、健康,
购书智慧智能综合服务平台
人卫官网 www.pmph.com 人卫官方资讯发布平台

版权所有,侵权必究!

生物医学工程实验 电子工程方向

主 编:李 刚

出版发行:人民卫生出版社(中继线 010-59780011)

地 址:北京市朝阳区潘家园南里 19 号

邮 编:100021

E - mail: pmph@pmph.com

购书热线:010-59787592 010-59787584 010-65264830

印 刷:中农印务有限公司

经 销:新华书店

开 本:850×1168 1/16 印张:23

字 数:680 千字

版 次:2019 年 7 月第 1 版 2019 年 7 月第 1 版第 1 次印刷

标准书号:ISBN 978-7-117-28424-0

定 价:79.00 元

打击盗版举报电话:010-59787491 E-mail: WQ@pmph.com

(凡属印装质量问题请与本社市场营销中心联系退换)

全国高等学校生物医学工程专业首轮规划教材

出版说明

生物医学工程(biomedical engineering, BME)是运用工程学的原理和方法解决生物医学问题,提高人类健康水平的综合性学科。它在生物学和医学领域融合数学、物理、化学、信息和计算机科学,运用工程学的原理和方法获取和产生新知识,促进生命科学和医疗卫生事业的发展,从分子、细胞、组织、器官、生命系统各层面丰富生命科学的知识宝库,推动生命科学的研究进程,深化人类对生命现象的认识,为疾病的预防、诊断、治疗和康复,创造新设备,研发新材料,提供新方法,实现提高人类健康水平、延长人类生命的伟大使命。

1952年,美国无线电工程学会(IRE)成立了由电子学工程师组成的医学电子学专业组(Professional Group on Medical Electronics, PGME)。这是BME领域标志性事件,这一年被认为是BME新纪元年。1963年IRE和美国电气工程师学会(AIEE)合并组建了美国电气电子工程师学会(IEEE)。同时PGME和AIEE的生物学与医学电子技术委员会合并成立了IEEE医学和生物学工程学会(IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, IEEE EMBS)。1968年2月1日,包括IEEE EMBS在内的近20个学会成立了生物医学工程学会(Biomedical Engineering Society, BMES)。这标志着BME作为一个新型学科在发达国家建立起来。

1974年南京军区总医院正式成立医学电子学研究室,后更名为医学工程科。这是我国第一个以BME为内涵的研究单位。1976年,以美籍华人冯元楨教授在武汉、北京开设生物力学讲习班为标志,我国的BME学科建设开始起步。1977年协和医科大学、浙江大学设置了我国第一批BME专业,1978年BME专业学科组成立,西安交通大学、清华大学、上海交通大学相继设置BME专业,1980年中国生物医学工程学会(CSBME)和中国电子学会生物医学电子学分会(CIEBMEB)成立。1998年,全国设置BME专业的高校17所。2018年,全国设置BME专业的高校约160所。

BME类专业是工程领域涵盖面最宽的专业,涉及的领域十分广泛。多学科融合是

BME 类专业的特质。关键领域包括:生物医学电子学,生物医学仪器,医学成像,生物医学信息学,生物医学材料,生物力学,仿生学,细胞,组织和基因工程,临床工程,矫形工程,康复工程,神经工程,制药工程,系统生理学,生物医学纳米技术,监督和管理,培训和教育。

BME 在国家发展和经济建设中的重要战略地位,是医疗卫生事业发展的重要基础和推动力量,其涉及的医学仪器、医学材料等是世界上发展迅速的支柱性产业。高端医学仪器和先进医学材料成为国家科技水平和核心竞争力的重要标志,是国家经济建设中优先发展的重要领域,需要大量专业人才。

我国 BME 类专业设置四十余年,涉及高校一百多所,却没有一部规划教材,大大落后于当前科学教育发展需要。为此教育部高等学校生物医学工程类教学指导委员会(下称“教指委”)与人民卫生出版社(下称“人卫社”)经过深入调研,精心设计,启动“十三五”BME 类规划教材建设项目。

规划教材调研于 2015 年 11 月启动,向全国一百余所高校发出调研函,历时一个月,结果显示开设 BME 类课程三十余门,其中(因被调研学校没有回函)缺材料类相关课程。若计及材料类课程,我国 BME 类专业开设的课程总数约 40 门。2015 年 12 月教指委和人卫社联合召开了首次“十三五”BME 类规划教材(下简称“规划教材”)论证会。提出了生物医学与生物医学仪器、生物医学光子学、生物力学与康复工程、生物医学材料四个专业方向第一轮规划教材的拟定目录。确定了主编、副主编及编者的申报与遴选条件。2016 年 12 月教指委和人卫社联合召开了第二次规划教材会议。会上对规划教材的编著人员的审查和教材内容的审定进行了研究和落实。2017 年 7 月召开了第三次规划教材会议,成立了规划教材评审委员会(见后表),进一步确定编写的规划教材目录(见后表)和进度安排。与会代表一致认为启动和完成“十三五”规划教材是我国 BME 类专业建设意义重大的工作。教材评审委员会对教材编写提出明确要求:

- (1) 教材编写要符合教指委研制的本专业教学质量国家标准。
- (2) 教材要体现 BME 类专业多学科融合的特质。
- (3) 教材读者对象要明确,教材深浅适度。
- (4) 内容紧扣主题,阐明原理,列举典型应用实例。

本套教材包括三类共 18 种,分别是导论类 3 种,专业课程类 13 种,实验类 2 种。详见后附整套教材目录。

本套教材主要用于 BME 类本科,以及在本科阶段未受 BME 专业系统教育的研究生教学使用,也可作为相关专业人员培训教材使用。

全国高等学校生物医学工程专业首轮规划教材

目录

序号	书名	主审	主编	副主编
01	生物医学工程导论	郑筱祥 董秀珍	张建保 赵俊	周凌宏 李永杰
02	生物医学工程 基础医学概论		闫剑群 李云庆	董为人 郑敏
03	生物医学工程 临床医学概论		李宗芳	吉训明 范竹萍 邹建中
04	医学成像	陈武凡	万遂人 康雁	郑海荣 郭兴明 刘锐刚
05	医学图像处理	王广志	冯前进	李纯明 陈阳
06	医学仪器原理与应用		王智彪 李刚	廖洪恩 付峰 柴新禹 吴非
07	生物医学传感技术	彭承琳 王明时	王平 沙宪政	史学涛 吴春生 阮萍
08	生物医学光子学		骆清铭 张镇西	高峰 廖新华
09	生物医学信息学	李兰娟	李劲松	刘奇 张岩 蔡永铭
10	健康信息工程	俞梦孙 董秀珍	陆祖宏	王磊 洪文学
11	神经工程导论	顾晓松 高上凯	明东 尧德中	王珏 杨卓 侯文生 封洲燕
12	生物医学材料学 材料生物学	刘昌胜	尹光福 张胜民	吴江 陈忠敏 陈爱政
13	生物医学材料学 性能与制备		陈晓峰 翁杰	憨勇 郑裕东
14	生物医学材料学 生物学评价	奚廷斐	周长忍 赵长生	
15	生物力学		樊瑜波	刘志成 王贵学
16	临床工程学	黄诒焯	吕毅 包家立	韩玥 乔清理 李斌
17	生物医学工程实验 电子工程方向		李刚	
18	生物医学工程实验 生物医学材料方向		尹光福 陈晓峰 周长忍	

全国高等学校生物医学工程专业首轮规划教材

评审委员会

顾 问

李兰娟 余梦孙 王威琪 王明时 彭承琳 郑筱祥
董秀珍 黄治焯 胡广书 陈武凡 陈思平 徐学敏

主任委员

万遂人 东南大学

副主任委员 (以姓氏笔画为序)

王广志 清华大学	刘志成 首都医科大学
尹光福 四川大学	段会龙 浙江大学
吕 毅 西安交通大学	骆清铭 华中科技大学
邬 洁 人民卫生出版社	

委 员 (以姓氏笔画为序)

王 平 浙江大学	汪源源 复旦大学
王智彪 重庆医科大学	张建保 西安交通大学
史学涛 第四军医大学	陈晓峰 华南理工大学
冯前进 南方医科大学	金 东 《中国医疗设备》杂志社
尧德中 电子科技大学	郑小林 重庆大学
朱怀球 北京大学	赵 俊 上海交通大学
刘常春 山东大学	赵会娟 天津大学
李 金 哈尔滨工程大学	徐桂芝 河北工业大学
李劲松 浙江大学	康 雁 东北大学
李德玉 北京航空航天大学	彭 屹 北京协和医学院
汪天富 深圳大学	廖洪恩 清华大学

秘 书 长

李志勇 东南大学 刘 水 人民卫生出版社

主编简介



李刚

天津大学精密仪器与光电子工程学院教授，博士生导师（生物医学工程、仪器科学与技术两个学科）。

主要研究领域：生物医学工程、信息检测与处理、嵌入式计算机及其应用。主持和参与了 30 多项国际合作、国家自然科学基金、省部委以及企业合作项目。在国际和国内学术刊物与会议上发表论文 670 多篇，其中 EI 检索 280 多篇、SCI 检索 150 多篇。获得国家发明专利 100 多项和已申请专利 130 多项。主编教材和著作 36 本。培养博士 40 名和硕士 160 多名，在读博士研究生 12 名和硕士研究生 8 名。获天津市五一劳动奖章、中国仪器仪表学会创新奖和天津市先进教师称号等各种奖励 40 多项。天津市精品课程“生物医学电子学”负责人和主讲教师，国家精品课程“测控电路”主讲者之一。

前言

生物医学工程是一门融合学科最多、关系人类健康与科学十分重要的学科，而其中的电子信息方向又是该学科中历史最悠久、现在的发展极为迅速的方向。电子信息类课程是生物医学工程专业电子信息方向的主干课程，这些课程既有成熟和完备的理论，又有较强的实践性和较为广泛的应用领域。然而，现在的教学比以往任何时候都充满挑战和机遇：

1. 应试教育之癌已经严重侵蚀到受教育者、教育者和教学管理者、教学方法与考核方法等方面。

2. 技术的飞速发展、知识爆炸，课程设置的爆炸性成长而每门课学时数被“腰斩”，实践课及其课时“名存实亡”。

3. 信息与网络技术以令人瞠目结舌的速度和广度渗透每个人的生活，对教学也产生巨大的冲击。

4. 有利的是受教育者自身的眼界开阔、获得知识的来源广泛、支撑学习的手段可以做到“无时、无处、无形”。

……

这些巨变也给教材的编写者带来极大的挑战：不仅要和基本理论和必要的实践做到游刃有余，也要跟上和掌握相关科技的发展和不断涌现的技术手段，还要牢牢坚守教学的宗旨——掌握知识、能够应用于实践、具备进一步自我学习的能力；遵循教学的规律，使学生在课程的学习中更高效和更有成效。

具体到本书的编写思路，主要体现在：

1. 必要的“实际”电路实验为不可或缺的基础，坚持足够的“硬件”实验。

2. 借助现代计算机技术和信息技术所提供的便利，提供的实验数目多、内容覆盖面宽，又很容易扩展，使实验者可开拓思路、扩展知识面。

3. 通过实践不仅仅止于加深理解，更重要的是学会思考，透过现象体会内在规律，升华到理性认识；学会“思考”“融会贯通”，避免支离破碎、蜻蜓点水的表浅认识。

4. 避免简单的“验证性”实验，暗藏“引导”和鼓励“尝试”，不仅在于“懂得”，更在于“运用、探索、自学”。

5. 既说清楚又不平铺直叙，既要系统、全面又要留有思考空间，引导学生收集知识“重构”成自己的知识。

6. 每个实验中既有必要的相关知识简介，又有很多思考题，这样既把理论与实践结合起来，又可引导实验者融会贯通、拓展思路，迅速地拓展知识面和增长能力。

总而言之，本实验指导书力图在实验教学“自主性、探索性、综合性和创造性”上有所突破，打破了传统的“验证性”实验的模式。

本教材的编写分工如下：乔文编写第1~4单元及附录，王焱编写第5~10单元，王慧泉编写第11~15单元，郝丽玲编写第16~26单元，陈瑞娟编写第27~28单元。李刚教授进行了最后的统稿。

编者

2018年12月

目 录

第 1 单元 基本电子仪器	1
一、实验目的	2
二、实验手段(仪器和设备,或平台)	2
三、实验原理、实验内容与步骤	3
四、思考题	13
第 2 单元 基本电子元器件	16
一、实验目的	16
二、实验手段(仪器和设备,或平台)	16
三、实验原理、实验内容与步骤	16
四、思考题	33
第 3 单元 若干基本定理和电压、电流与内阻的测量	36
一、实验目的	36
二、实验手段(仪器和设备,或平台)	36
三、实验原理、实验内容与步骤	36
四、思考题	56
第 4 单元 受控源、运算放大器的特性参数与应用	58
一、实验目的	58
二、实验手段(仪器和设备,或平台)	58
三、实验原理、实验内容与步骤	58
四、思考题	76
第 5 单元 三极管放大器的设计	78
一、实验目的	78
二、实验手段(仪器和设备,或平台)	78
三、实验原理、实验内容与步骤	78
四、思考题	82
第 6 单元 运算放大器若干参数的测试	83

一、实验目的	83
二、实验手段(仪器和设备,或平台)	83
三、实验原理、实验内容与步骤	83
四、思考题	87
第7单元 反相放大器与同相放大器的设计	90
一、实验目的	90
二、实验手段(仪器和设备,或平台)	90
三、实验原理、实验内容与步骤	90
四、思考题	94
第8单元 深度负反馈	96
一、实验目的	96
二、实验手段(仪器和设备,或平台)	96
三、实验原理、实验内容与步骤	96
四、思考题	101
第9单元 仪器放大器	103
一、实验目的	103
二、实验手段(仪器和设备,或平台)	103
三、实验原理、实验内容与步骤	103
四、思考题	107
第10单元 有源滤波器	108
一、实验目的	108
二、实验手段(仪器和设备,或平台)	108
三、实验原理、实验内容与步骤	108
四、思考题	112
第11单元 心电信号检测与采集前端设计	113
一、实验目的	113
二、实验手段	113
三、实验原理、实验内容与步骤	113
四、思考题	123
第12单元 单波长和双波长光电容积脉搏波	125
一、实验目的	125
二、实验手段(仪器和设备,或平台)	125
三、实验原理、实验内容与步骤	125
四、思考题	134
第13单元 体温测量(热敏二极管、热电阻、热敏电阻和红外温度传感器)	135
一、实验目的	135
二、实验手段(仪器和设备,或平台)	135

三、实验原理、实验内容与步骤	135
四、思考题	143
第 14 单元 压力脉搏波与振荡法血压测量	145
一、实验目的	145
二、实验手段(仪器和设备,或平台)	145
三、实验原理、实验内容与步骤	145
四、思考题	148
第 15 单元 阻抗呼吸波测量	150
一、实验目的	150
二、实验手段(仪器和设备,或平台)	150
三、实验原理、实验内容与步骤	150
四、思考题	157
第 16 单元 离散时间信号的产生与运算	159
一、实验目的	159
二、实验原理	159
三、实验内容与方法	160
四、程序设计实验	164
五、思考题	164
第 17 单元 离散线性时不变系统的时域分析	165
一、实验目的	165
二、实验原理	165
三、实验内容与方法	165
四、程序设计实验	170
五、思考题	170
第 18 单元 离散线性时不变系统的频域分析	171
一、实验目的	171
二、实验原理	171
三、实验内容和方法	172
四、程序设计实验	175
五、思考题	176
第 19 单元 离散傅里叶变换	177
一、实验目的	177
二、实验原理	177
三、实验内容和方法	179
四、程序设计实验	185
五、思考题	185

第 20 单元 抽样定理	186
一、实验目的	186
二、实验原理	186
三、实验内容和方法	187
四、程序设计实验	193
五、思考题	193
第 21 单元 数字滤波器的结构设计分析	194
一、实验目的	194
二、实验原理	194
三、实验内容和方法	196
四、程序设计实验	199
五、思考题	199
第 22 单元 IIR 数字滤波器的设计	200
一、实验目的	200
二、实验原理	200
三、实验内容和方法	201
四、程序设计实验	204
五、思考题	204
第 23 单元 FIR 数字滤波器的设计	205
一、实验目的	205
二、实验原理	205
三、实验内容和方法	205
四、程序设计实验	212
五、思考题	212
第 24 单元 心电信号的预处理——滤波去噪	213
一、设计背景	213
二、设计目的	213
三、设计内容	213
四、设计示例	214
五、思考题	219
第 25 单元 心电信号的特征点检测	220
一、设计背景	220
二、设计目的	220
三、设计内容	220
四、设计示例	221
五、思考题	227

第 26 单元 心电信号的分析与疾病诊断应用	228
一、设计背景	228
二、设计目的	228
三、设计内容	228
四、设计示例	229
五、思考题	229
第 27 单元 医学图像处理基础	230
一、实验目的	230
二、实验原理	230
三、实验内容与方法	241
四、思考题	241
第 28 单元 医学图像增强	242
一、实验目的	242
二、实验原理、实验内容与步骤	242
三、实验内容与方法	255
四、思考题	256
附录 1 数字示波器	257
一、数字示波器快速入门	257
二、数字示波器测量实例	270
附录 2 ATF20B DDS 数字合成函数发生器	273
一、概述	273
二、主要功能与特点	273
三、技术指标	274
四、选件介绍	277
附录 3 数字万用表	278
一、引言	278
二、选择你适用的数字万用表	278
三、基础知识	278
四、直流电压和交流电压	279
五、电阻,连通性和二极管	279
六、直流电流和交流电流	281
七、安全性	281
八、MS8221A 数字万用表使用说明书	282
附录 4 直流稳压电源	288
一、简介	288
二、分类	288

三、基本功能	289
四、技术指标	290
附录 5 电阻器	291
附录 6 电容器	293
一、铝电解电容器	293
二、钽电解电容器(CA) 钽电解电容(CN)	293
三、薄膜电容器	294
四、瓷介电容器	294
五、独石电容器	294
六、纸质电容器	295
七、微调电容器	295
八、陶瓷电容器	295
九、玻璃釉电容器(CI)	295
附录 7 电感	297
附录 8 二极管的基础知识	299
一、根据晶体二极管 PN 结构造面的分类	300
二、根据用途分类	301
三、根据特性分类	303
四、二极管的主要参数	304
附录 9 三极管的基础知识	306
附录 10 Multisim 简介	309
一、Multisim 的菜单栏	309
二、Multisim 的工具栏	311
三、电路原理图设计流程	312
四、电源库	313
五、基本元件库	313
六、常用仿真仪器	317
七、数字电路中的常用仿真仪器	323
附录 11 电路设计和仿真工具 TINA-TI 的简介	328
一、概述	328
二、电路示例	328
三、TINA-TI 的使用	329
附录 12 运算放大器的种类与主要参数	345
一、概述	345
二、集成运算放大器的主要直流参数	345
三、集成运算放大器的主要交流参数	349

第 1 单元

基本电子仪器

对于一个电路是否正常工作并实现其特定的功能,需要使用电子仪器对其进行测试。在电路不能正常工作和达不到其性能时,也要采用电子仪器对电路进行测试以分析和排除电路中的故障,因此,掌握基本电子仪器的原理及正确的使用方法是成为电子工程师和有关领域科技人员的必要前提。

示波器(图 1-1)可以测量电压信号,更可以动态地观察波形、测量电压信号的幅值和频率等。因此,在电路的测量、调试中示波器是最常用、最基本的电子仪器。

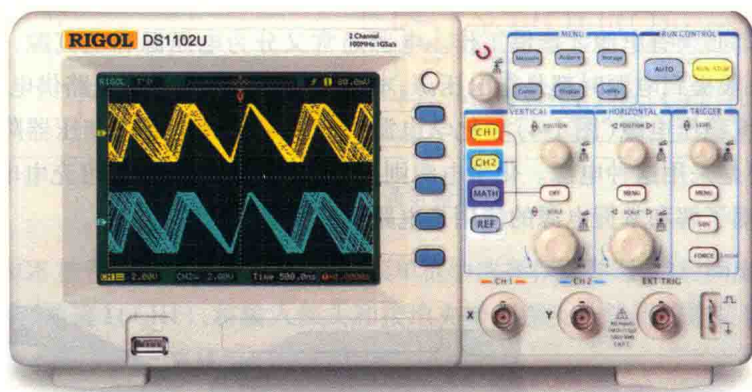


图 1-1 TD1000 系列数字示波器

函数信号发生器是一种能提供各种频率、波形和输出电平电信号的设备。在测量各种电信系统或电信设备的振幅特性、频率特性、传输特性和其他电参数,以及测量元器件的特性与参数时,它被用作测试的信号源或激励源。它能够产生多种波形,如三角波、锯齿波、矩形波、正弦波,所以在生产实践和科技领域中有着广泛的应用。

ATF20B DDS 函数信号发生器(图 1-2)采用数字合成技术,具有快速完成测量工作所需的高性能

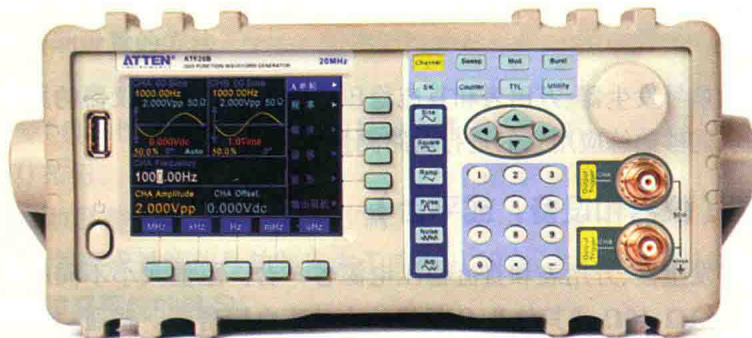


图 1-2 函数信号发生器 ATF20B