



全国高等医学院校实验教材



国家级医学基础实验教学示范中心系列教材

供高等医学院校和综合类大学生物医学工程专业使用

生物医学工程学 实验教程

SHENGWUYIXUEGONGCHENGXUE
SHIYANJIAOCHENG

主编/沙宪政 尹 勇



人民军医出版社

PEOPLE'S MILITARY MEDICAL PRESS

全国高等医学院校实验教材

国家级医学基础实验教学示范中心系列教材

供高等医学院校和综合类大学生物医学工程专业使用

生物医学工程学实验教程

SHENGWUYIXUE GONGCHENGXUE SHIYAN JIAOCHENG

主 编 沙宪政 尹 勇

副主编 常世杰

编 者 (以姓氏笔画为序)

于 璐 尹 勇 艾 华 龙 哲

付志然 刘 艳 苏 克 沙宪政

柳 军 索永宽 常世杰 彭长山



人民军医出版社

PEOPLE'S MILITARY MEDICAL PRESS

北 京

图书在版编目(CIP)数据

生物医学工程学实验教程/沙宪政,尹 勇主编. —北京:人民军医出版社,2010.9
全国高等医学院校实验教材
ISBN 978-7-5091-3802-1

I. ①生… II. ①沙…②尹… III. ①生物医学工程—实验—医学院校—教材 IV. ①R318-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 164778 号

策划编辑:曾小珍 徐卓立 文字编辑:王月红 责任审读:周晓洲

出版人:齐学进

出版发行:人民军医出版社 经销:新华书店

通信地址:北京市 100036 信箱 188 分箱 邮编:100036

质量反馈电话:(010)51927290;(010)51927283

邮购电话:(010)51927252

策划编辑电话:(010)51927300-8163

网址:www.pmmmp.com.cn

印刷:潮河印业有限公司 装订:京兰装订有限公司

开本:787mm×1092mm 1/16

印张:20 字数:483 千字

版、印次:2010年9月第1版第1次印刷

印数:0001~2050

定价:58.00 元

版权所有 侵权必究

购买本社图书,凡有缺、倒、脱页者,本社负责调换

国家级医学基础实验教学示范中心

医学基础系列实验教材

出版说明

进入 21 世纪,科学技术的发展瞬息万变,信息高速公路的运转使人才培养工作进入了一个知识爆炸的全新时代,国际科学技术知识大循环带来了又一次科学革命,形成了不可阻挡的潮流。新的时代需求新型人才,创新科学技术产生需要新的人才培养模式,新型师资队伍建设与国际先进水平接轨的现代化科学方法熏陶学生。

医学实验学教学改革工作在教育部的领导下已在我国全面铺开,为了培养多用型、综合型人才,国家实施了精品教育工程计划,建立国家级医学实验示范中心是举措之一。正是在这一宏观教育改革精神的指导下,中国医科大学的基础医学被评为“国家级医学基础实验教学示范中心”。从此,医学基础实验课的考试分数与理论课平分天下,各占据半壁江山。

教材是教学的载体,迄今为止,我国还没有一套国家规划的专门的医学基础学科实验教材供学生使用,这严重影响了国家教育改革措施的落实。由于中国医科大学是“三基三严”的发祥地,医学基础教育改革在 CMB 课题支撑下引领风骚,医学基础师资底蕴丰厚,因此,从 2008 年起我校示范中心联合其他兄弟院校组织了一系列医学基础课实验学教材的编写。本套实验教材目前陆续出版的有:

- 《人体机能学实验教程》 冯甲棣等主编
- 《医学生物学实验教程》 赵彦艳等主编
- 《组织工程学实验教程》 柏树令等主编
- 《生物医学工程学实验教程》 沙宪政等主编
- 《生物医学信息管理学实验教程》 沙宪政等主编
- 《医学实验仪器检测学实验教程》 崔泽实等主编
- 《人体形态科学实验教程》 吕永利等主编
- 《解剖学实验教程》 吕永利等主编
- 《病原生物学实验教程》 罗恩杰等主编

这些教材的编写均是实验教学领域中新的尝试,主要为了适应迅速发展的医学实验教学与人才培养的需要,也是为提高我国的医学教育质量,推动我国医学教育的发展应尽的一份努力,应献的一份爱心。在此,欢迎兄弟院校多给我们提出宝贵意见。

中国医科大学
2009 年 11 月

内 容 提 要

《生物医学工程学实验教程》是医学工程及其相关专业的配套实验教材,全书分为基础实验、综合实验和创新实验 2 篇。其中,基础实验介绍了模拟电路、数字电路、微机原理与接口技术、C 语言程序设计、医学图像处理、信号分析与处理等 88 项实验;综合实验介绍了生物医学和计算机的相关实验 30 项;创新实验则介绍了温度测量实验、压力测量实验等内容。本书可供高等医学院校和综合类院校生物医学工程专业以及其他相关专业的学生使用。

前 言

《生物医学工程学实验教程》定位于医学院校和综合类大学的生物医学工程专业本科生以及生物技术类、电子技术类和仪器设备类本科生的参考用书,亦可为本科生毕业设计和电子设计竞赛、硕士与博士研究生的选修课程和相关学科的参考用书。本教程旨在培养基础知识扎实,具有创新思维,兼具工学与医学学科背景的复合型学生,为科研院所、国内外医疗设备厂商和临床相关部门输送高质量人才。

生物医学工程学是个交叉学科,与电子技术、生物技术和临床医学密切相关,其主要特点是将工程学的方法应用到医学领域中。它将工程技术与医学相结合以提高医疗水平,帮助患者得到较好的照料以及提高健康个体的生活质量。研发是生物医学工程师工作的主要内容,它覆盖一个非常宽广的领域:生物信息学、医学图像、图像处理、生理信号处理、生物力学、生物材料、系统分析、三维建模等。

本书的编写凝聚了中国医科大学生物医学工程系相关教研室教师的心血与汗水。通过7年的教学与几届毕业生的培养经验积累,我们的生物医学工程专业实验课教学有了自己的特色:按照PBL教学的思想,将实验分为基础实验、综合实验和创新实验3个层次。基础实验是配合理论课的验证性实验,各种层次的学生都须完成;综合实验包括课内小综合和不同学科知识的大综合,综合型体现了生物医学工程专业的学科特色,是实验的主要组成部分;创新实验是完全的探索性实验,课本没有给出实验结论,完全由教师指导学生自行完成,评价方式也不是“做出来”或“做不出来”,而是实验的创新理念和思想,是实验的过程。

全书包括生物医学工程专业的全部基础实验和专业课程实验。生物医学工程学涉及面广,内容博大精深,发展也极其迅速,对于本书中的不足之处,请各位读者不吝赐教,以便再版时更加完善。

沙宪政

2010年1月

目 录

第一篇 基础实验

第 1 章 电工理论基础	(3)
实验一 基尔霍夫定律与叠加定理	(3)
实验二 有源二端网络等效参数的测定	(6)
实验三 直流电压源与直流电流源的特性研究	(9)
实验四 动态电路的特性分析	(12)
实验五 电阻电容电感交流参数的测量	(16)
实验六 三相交流电路电压电流及功率的测量	(18)
实验七 双口网络特性的研究	(22)
第 2 章 模拟电路	(26)
实验一 基本共发射极电路	(26)
实验二 晶体管放大电路	(28)
实验三 场效应管放大器	(33)
实验四 负反馈放大器	(35)
实验五 集成运算放大器的基本应用(I)	(38)
实验六 集成运算放大器的基本应用(II)——电压比较器	(42)
实验七 集成运算放大器的基本应用(III)——有源滤波器	(45)
实验八 RC 正弦波振荡器	(47)
实验九 OTL 功率放大器	(48)
第 3 章 数字电路	(52)
实验一 TTL 与非门的参数测试	(52)
实验二 组合逻辑电路的设计与测试	(55)
实验三 编码器、译码器与显示电路	(59)
实验四 触发器及其应用	(64)
实验五 555 时基电路及其应用	(68)
第 4 章 微机原理与接口技术	(74)

实验一	I/O 地址译码及简单并行接口实验	(74)
实验二	中断实验	(76)
实验三	DMA 传送实验	(78)
实验四	串行通信接口 8251 实验	(81)
实验五	并行通信接口 8255 实验	(83)
实验六	可编程定时器/计数器 8253 实验	(88)
实验七	数/模转换实验	(90)
实验八	模/数转换实验	(92)
实验九	存储器读写实验	(94)
第 5 章 C 语言程序设计实验指导书		(96)
实验一	C 语言实验上机环境介绍	(96)
实验二	C 程序的运行环境和运行 C 程序的方法	(102)
实验三	数据类型、运算符和表达式	(104)
实验四	最简单的 C 程序设计	(106)
实验五	选择结构程序设计	(108)
实验六	循环控制	(109)
实验七	数组	(110)
实验八	函数	(111)
实验九	编译预处理	(113)
实验十	指针	(115)
实验十一	结构体和共用体	(117)
实验十二	位运算	(118)
实验十三	文件	(118)
第 6 章 医学图像处理		(120)
实验一	位图文件的读取、显示和存储	(120)
实验二	数字图像的几何变换	(123)
实验三	直方图均衡	(125)
实验四	空间域平滑和锐化	(127)
实验五	频率域滤波增强	(129)
实验六	图像的数学形态学变换	(131)
实验七	彩色图像处理	(133)
第 7 章 生物医学传感器		(138)
实验一	金属箔式应变片性能——直流单臂电桥、半桥和全桥	(138)
实验二	交流全桥的应用——电子秤	(141)
实验三	差动变压器的静态位移性能与振动测量应用	(143)
实验四	热电偶测温实验	(145)
实验五	光纤位移传感器实验	(147)
实验六	压电晶体传感器的动态响应、电荷放大器	(148)
实验七	扩散硅压阻式压力传感器实验	(149)

实验八	气敏传感器实验	(150)
实验九	霍尔式传感器的特性	(151)
第 8 章	微控制器原理与医学应用	(155)
实验一	微控制器系统的开发原理	(155)
实验二	码制转换类指令系统实验	(161)
实验三	运算类指令系统实验	(161)
实验四	I/O 口实验	(162)
实验五	中断系统实验	(164)
实验六	定时器/计数器实验	(165)
实验七	串行通讯实验	(166)
实验八	存储器扩展实验	(166)
实验九	8155 键盘及显示接口实验	(168)
实验十	A/D 转换实验	(169)
实验十一	D/A 转换实验	(170)
第 9 章	医学电子仪器实验	(172)
实验一	心电信号测量实验	(172)
实验二	参数对心电测量的影响	(174)
实验三	线性光隔离电路实验	(176)
实验四	血压测量	(178)
实验五	XD-7100 单道心电图机的使用及其内部结构	(180)
实验六	生物医学电极、多功能低频脉冲理疗仪实验	(183)
第 10 章	信号分析与处理	(188)
实验一	Matlab 基础及电路实验环境的熟悉	(188)
实验二	信号的表示与运算	(192)
实验三	连续 LTI 系统的模拟	(195)
实验四	卷积及系统的时域分析	(199)
实验五	矩形脉冲信号的合成与分解	(202)
实验六	傅立叶变换与系统的频域分析	(204)
实验七	连续时间系统的复频域分析	(206)
实验八	信号的抽样与恢复	(209)
实验九	离散时间系统与 z 域分析	(211)
实验十	离散傅立叶变换	(213)
实验十一	快速傅立叶变换	(214)
实验十二	数字滤波器的设计	(216)

第二篇 综合实验和创新实验

第 11 章	综合实验	(221)
实验一	常用电压电流仪表的精度特性研究	(221)
实验二	日光灯功率因数的提高及三相电路相序测量	(224)

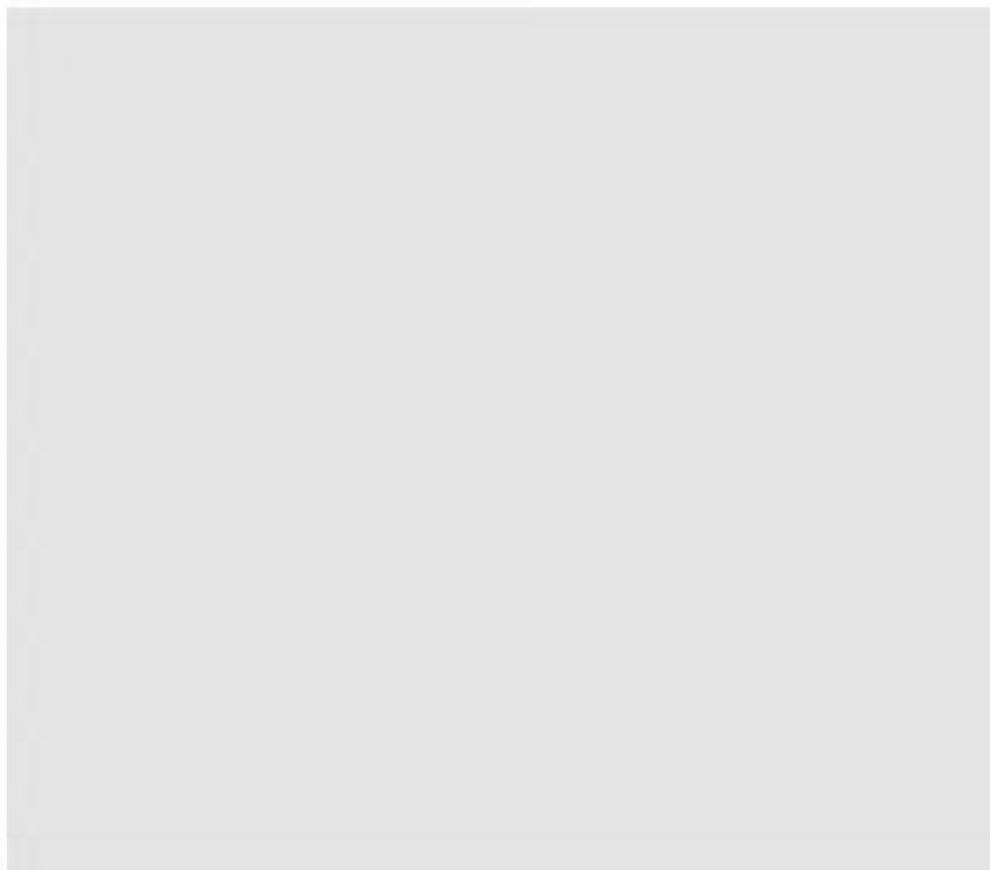
实验三	自感与互感电路的实验研究·····	(227)
实验四	受控源的构成及负载特性曲线·····	(230)
实验五	用运算放大器构建万用电表的设计·····	(234)
实验六	单相电度表的校验·····	(237)
实验七	串联型晶体管稳压电源·····	(238)
实验八	温度监测及控制电路·····	(241)
实验九	数字钟实验·····	(244)
实验十	数字瞬时心率计电路·····	(247)
实验十一	继电器控制实验·····	(255)
实验十二	电子琴实验·····	(257)
实验十三	小直流电机转速控制实验·····	(259)
实验十四	步进电机控制实验·····	(261)
实验十五	竞赛抢答器实验·····	(263)
实验十六	交通灯控制实验·····	(264)
实验十七	数字录音机实验·····	(266)
实验十八	医学图像增强·····	(267)
实验十九	细胞图像分割·····	(269)
实验二十	细胞计数·····	(270)
实验二十一	应变片温度效应及补偿实验·····	(271)
实验二十二	电机测速实验·····	(273)
实验二十三	乙醇气体报警器·····	(274)
实验二十四	步进电机与直流电机实验·····	(274)
实验二十五	温度控制实验·····	(276)
实验二十六	信号系统综合设计实验·····	(280)
实验二十七	磁共振成像一维空间编码·····	(281)
实验二十八	黑白电视显示系统实验·····	(284)
实验二十九	黑白电视接收机的基本工作原理·····	(296)
	一、黑白电视接收机框图及概述·····	(296)
	二、高频谐振器·····	(300)
	三、中放通道·····	(302)
	四、伴音通道的作用、组成和性能要求及原理·····	(304)
	五、显像管电路·····	(307)
	六、扫描电路·····	(308)
实验三十	光敏声控灯电路原理实验·····	(312)
第 12 章	创新实验 ·····	(315)
	一、温度测量实验·····	(315)
	二、压力测量实验·····	(315)
	三、心脏超声图像的去噪·····	(315)
	四、基因芯片图像的自动识别·····	(315)

五、基于 80C52 单片机的 LCD 动态显示设计	(315)
六、基于 80C52 单片机的滴流控制系统设计	(316)
七、磁共振仪	(317)

第一篇

Part 1

基础实验



实验一

基尔霍夫定律与叠加定理

【实验目的】

1. 从实验中学习了解基尔霍夫定律和叠加定理,加深对直流电路中参考方向和线性电路的叠加性与齐次性的理解。
2. 学会并练习使用基本电子仪表测量电路中的物理量。
3. 学习布线、查线和连接电路的能力。

【实验原理】

基尔霍夫定律包括电流定律和电压定律。基尔霍夫电流定律指出,在集总电路中,任何时刻,对任一节点,所有流出节点的支路电流的代数和恒等于零。基尔霍夫电压定律指出,在集总电路中,任何时刻,沿任一回路,所有支路电压的代数和等于零。

叠加定理,在线性电阻电路中,某处的电压或电流都是电路中各个独立电源单独作用时在该处分别产生的电压或电流的叠加。

在线性电路中,当所有激励(电压源和电流源)都同时增大或缩小 K 倍(K 为实常数)时,响应(电压和电流)也将同样增大或缩小 K 倍。这是线性电路的齐次性定理。

【实验内容】

1. 基尔霍夫定律

(1)在实验电路板上按图 1-1 连接实验电路,实验前先任意设定 3 条支路的电流参考方向,如图 1-1 中 I_1 、 I_2 、 I_3 所示。

(2)用万用表的直流电流档分别测量 3 个支路中 I_1 、 I_2 、 I_3 的电流值,把所测量的结果记录在表 1-1 中。

表 1-1 基尔霍夫电流定律实验

物理量	I_1 (mA)	I_2 (mA)	I_3 (mA)
测量值			

(3)用万用表的直流电压档分别测量实验电路中的 3 个闭合回路中各个元件两端的电压

值,电压的参考方向按表格中大写字母标记所示。把所测量的结果记录在表 1-2 中。

表 1-2 基尔霍夫电压定律实验结果记录

物理量	$U_{AC}(V)$	$U_{CI}(V)$	$U_{IF}(V)$	$U_{FA}(V)$	物理量	$U_{CE}(V)$	$U_{EJ}(V)$	$U_{JI}(V)$	$U_{IC}(V)$	物理量	$U_{AE}(V)$	$U_{EJ}(V)$	$U_{JF}(V)$	$U_{FA}(V)$
测量值					测量值					测量值				

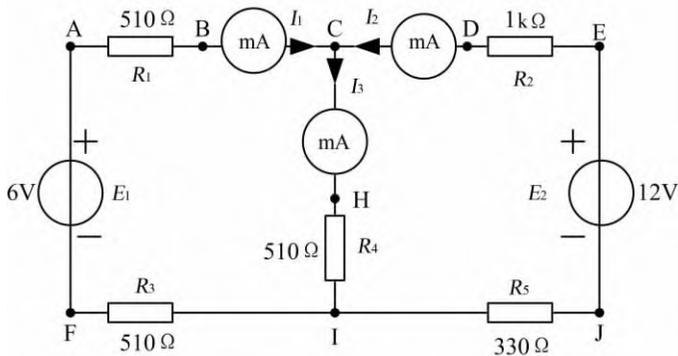


图 1-1 基尔霍夫定律实验电路

2. 叠加定理

(1)在实验电路板上按图 1-2 连接实验电路,实验前先任意设定 3 条支路的电流参考方向,如图 1-2 中 I_1 、 I_2 、 I_3 所示。

(2)在以下 4 种情况中,用万用表的直流电流档测量电流 I_1 、 I_2 ,用万用表的直流电压档测量电阻元件两端电压,把测量结果记录在表 1-3 中。

- ①电压源 E_1 单独作用(即 $E_1 = 6V, E_2 = 0V$)。
- ②电压源 E_2 单独作用(即 $E_1 = 0V, E_2 = 12V$)。
- ③电压源 E_1 和 E_2 共同作用(即 $E_1 = 6V, E_2 = 12V$)。
- ④电压源 $2E_1$ 单独作用(即 $2E_1 = 12V, E_2 = 0V$)。

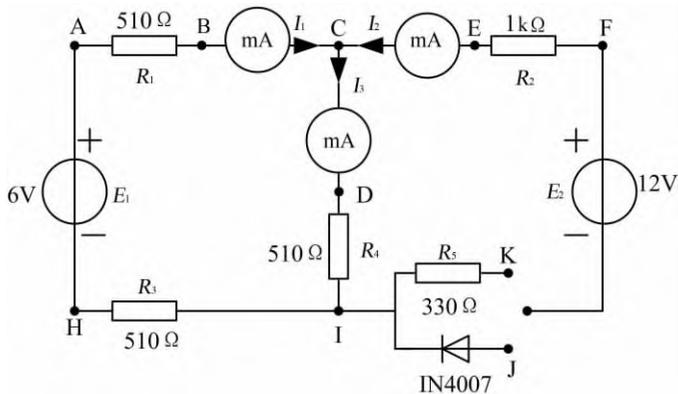


图 1-2 叠加定理实验电路

表 1-3 线性电路

物理量 实验内容	E_1 (V)	E_2 (V)	I_1 (mA)	I_2 (mA)	U_{CF} (V)	U_{IH} (V)	U_{CI} (V)	U_{IK} (V)
E_1 单独作用	6	0						
E_2 单独作用	0	12						
$E_1 E_2$ 共同作用	6	12						
$2E_1$ 单独作用	12	0						

(3)把实验电路中的电阻元件 R_5 换成一只二极管 IN4007,连接成一个非线性电路,重复以上 4 种情况的测量过程,把数据记录在表 1-4 中。

表 1-4 非线性电路

物理量 实验内容	E_1 (V)	E_2 (V)	I_1 (mA)	I_2 (mA)	U_{CF} (V)	U_{IH} (V)	U_{CI} (V)	U_{IJ} (V)
E_1 单独作用	6	0						
E_2 单独作用	0	12						
$E_1 E_2$ 共同作用	6	12						
$2E_1$ 单独作用	12	0						

【实验设备】

实验线路板 2 个,直流稳压电源 2 个,数字万用表 3 个,测试连接导线 10 根。

【注意事项】

1. 连接电路时,要防止电源两端碰线短路,以免烧毁电源。
2. 使用万用表时,根据被测物理量选择正确的档位。测量电压电流时,万用表的红、黑表笔的位置与被测物理量的参考方向要正确对应。
3. 用万用表测量元件电压时,仪表应该并联在元件两端,用万用表测量电路中电流时,仪表应串联在电路中。
4. 叠加定理中电源单独作用的含义, E_1 单独作用时,应该使 $E_2=0$,即将 E_2 这个稳压电源关闭,把导线撤下,同时用另一根导线把电路板上 E_2 位置处的两端短接。 E_2 单独作用情况类似。

【实验报告】

1. 根据实验数据,对实验电路中的节点 C 的电流情况,验证基尔霍夫电流定律,对实验电路中的 3 个闭合回路的元件两端电压情况,验证基尔霍夫电压定律。
2. 根据实验数据,选择一支路电流,通过计算,验证线性电路的叠加性和齐次性。选择一元件两端电压,通过计算,验证线性电路的叠加性和齐次性。
3. 各电阻所消耗的功率能否用叠加定理计算得出? 试用上述实验数据,选择一个电阻,进行计算,看能否用叠加定理计算,并做出结论。
4. 根据实验数据,选择一支路电流和一元件两端电压,验证叠加定理在非线形电路中是否适用。

实验二

有源二端网络等效参数的测定

【实验目的】

1. 从实验中学习了解戴维南定理,验证戴维南定理。
2. 掌握测量有源二端网络等效参数的一般方法。

【实验原理】

1. 任何一个线性含源网络,如果仅研究其中一条支路的电压和电流,则可将电路的其余部分看作是一个有源二端网络(或称为含源一端口网络)。

戴维南定理指出,一个含独立电源、线性电阻和受控源的一端口,对外电路来说,可以用一个电压源和电阻的串联组合等效置换,此电压源的激励电压等于一端口的开路电压,电阻等于一端口内全部独立电源置0后的输入电阻。

诺顿定理指出,一个含独立电源、线性电阻和受控源的一端口,对外电路来说,可以用一个电流源和电阻的并联组合等效置换,电流源的激励电流等于一端口的短路电流,电阻等于一端口中全部独立电源置0后的输入电阻。

2. 有源二端网络等效参数的测量方法

(1) 开路电压短路电流法:在有源二端网络负载开路时,用直流电压表直接测其输出端的开路电压 U_{OC} ,然后再将其负载端短路,串联上直流电流表测其短路电流 I_{SC} ,则内阻为 $R_0 = \frac{U_{OC}}{I_{SC}}$ (内阻低的二端网络不宜用此法)。

(2) 伏安法:用直流电压表、直流电流表测出有源二端网络的外特性如图 1-3 所示。可以根据外特性曲线求出曲线的斜率 $\tan\phi$,则二端网络的内阻为 $R_0 = \tan\phi = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{U_{OC}}{I_{SC}}$ 。

用伏安法,主要是测开路电压及电流为额定值 I_N 时的输出端电压值 U_N ,则内阻为 $R_0 = \frac{U_{OC} - U_N}{I_N}$ 。若二端网络的内阻值很低时,则不宜测量其短路电流。

(3) 半电压法:实验测量原理如图 1-4 所示,当负载电压为被测网络开路电压一半时,负载电阻即为被测有源二端网络的等效内阻值。

(4) 零示法:在测量具有高内阻源的二端网络的开路电压时,用直流电压表进行直接测量会造成较大的误差,为了消除电压表内阻的影响,往往采用零示测量法,实验测试原理图如图 1-5 所示。

零示法测量原理是用一低内阻的稳压电源与被测有源二端网络进行比较,当稳压电源的输出电压与有源二端网络的开路电压相等时,电压表的读数为 0,然后将电路断开,测量此时稳压电源的输出电压,即为被测有源二端网络的开路电压。

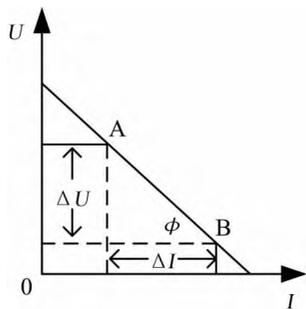


图 1-3 有源二端网络伏安特性