

高等学校教材

医用电子技术基础

上册

主 编 张汉谋

青岛海洋大学出版社

内 容 提 要

本书分上、下两册。上册主要包括电路基础、常用电器、半导体器件、晶体管放大器、振荡器、脉冲数字电路。下册包括直流稳压电源、输入输出设备和常用医学仪器三章和实验部分(共编了二十八个实验),可供医学、检验、药学、医学、放射等专业教材之用,也可作为医师和生物医学工程人员的参考书。

序 言

80年代以来 我国在许多医学院校相继开设了检验专业。医学检验是一个理工与生物医学互相交叉, 互相渗透的边缘性学科, 是现代医学中临床医学与实验科学技术相结合的学科。电子技术在该学科中占有重要地位。多年来, 各校在电工电子学的教学中, 多数是采用理工科的教材, 不能很好地适应医学专业实际需要。在教学安排上也存在较大差异。通过几年的教学实践, 我们感到迫切需要一本结合医学检验专业要求的教材。为此, 由北京医科大学、张家口医学院、大连医学院、吉林医学院、华西医科大学、第三军医大学、贵阳医学院和青岛医学院等院校在青岛召开了研讨会, 决定编写“医用电子技术基础”一书, 並进行了分工; 青岛医学院张汉谋同志任主编, 何方鲁同志负责该书实验部份的责任主编。这本教材不仅可作为检验专业教学所用, 也可供其它医学专业本科生、研究生和专科生的选修课的需用, 对医学生的第二课堂活动, 也是有益的参考书。

本书共分十二章, 並选编了二十八个实验, 每章附有练习题和思考题。该书内容既有电路基础知识, 电子线路理论, 又注重实际医学电子仪器的线路分析。在阐明理论时, 尽量避免数学推导。整个内容足够120学时的需要, 各校可根据具体情况, 取舍使用。

参加本书编写的除了上述八所院校的物理教研室的同志外, 南京军区军医学校的同志也参与撰写了部分内容。华西医科大学主持了审稿会, 会上提出了很多宝贵意见。青岛医学院物理教研室的同志负责誉写、校对和绘制插图的工作。在此一并致以谢意。

由于水平所限, 不妥之处, 在所难免, 敬请批评指正。

编 者

1991年5月

目 录

第一章 电路基础.....	1
§1—1 直流电路的几个基本概念.....	1
一、电流和电压的参考方向.....	1
二、支路、节点和回路.....	2
§1—2 基尔霍夫定律.....	2
一、基尔霍夫第一定律.....	2
二、基尔霍夫第二定律.....	4
§1—3 电压源、电流源及其等效转换.....	6
一、电压源.....	7
二、电流源.....	8
三、电压源与电流源的等效变换.....	9
§1—4 戴维南定理和诺顿定理.....	11
一、叠加原理.....	11
二、戴维南定理.....	13
三、诺顿定理.....	14
§1—5 直流电路的暂态过程.....	15
一、RC电路的暂态过程.....	16
二、RC电路的暂态过程.....	20
§1—6 正弦交流电.....	23
一、交流电的瞬时值.....	23
二、交流电的有效值幅值和位相.....	25
§1—7 简单的交流电路.....	26
一、纯电阻交流电路.....	26
二、纯电感交流电路.....	27
三、纯电容交流电路.....	30
§1—8 电阻、电感和电容的串联电路.....	32

一、串联电路中的电压与电流	32
二、串联电路的功率	35
三、串联谐振电路	35
§1—9 电感和电容的并联电路	37
§1—10 交流电路的功率	40
§1—11 三相交流电	42
一、三相交流电的产生	43
二、三相电源绕组的连接法	44
三、三相负载的连接法	47
四、三相电功率	52
习题一	53
第二章 常用电器	56
§2—1 变压器	56
一、变压器的构造	56
二、变压器的原理	57
三、变压器的功耗和效率	60
四、自耦变压器	61
五、变压器的铭牌	62
§2—2 异步电动机	63
一、异步电动机的转动原理	64
二、异步电动机的基本结构	65
三、单相异步电动机如何产生旋转磁场	66
四、旋转磁场的旋转速度	69
五、异步电动机的转差率	70
六、异步电动机的起动与反转	70
§2—3 直流电动机	72
一、直流电动机的结构	72
二、直流电动机的工作原理	74

三、直流电动机的分类和反转	75
§2—4 电冰箱	77
一、电冰箱的制冷系统	77
二、电冰箱的压缩机	78
三、电冰箱的控制系统	80
§2—5 恒温箱	83
一、恒温箱的结构	84
二、温度控制电路	85
§2—6 电度表	86
一、交流单相电度表的基本结构	87
二、交流单相电度表的工作原理	89
三、电度表的正确使用	91
习题二	92
第三章 半导体器件	93
§3—1 半导体的导电特性	93
一、半导体的导电特点	93
二、本征半导体	94
三、杂质半导体	96
§3—2 晶体二极管和稳压管	98
一、PN结的形成及其性能	99
二、晶体二极管	101
三、稳压管	105
§3—3 晶体三极管	107
一、晶体三极管的结构	107
二、晶体三极管的放大原理	109
三、晶体三极管的输入和输出特性	112
四、晶体三极管的工作区域	115
五、晶体三极管的主要参数	116

§3—4 场效应管	120
一、场效应管的基本导电机理	120
二、结型场效应管的结构和特性	121
三、绝缘栅场效应管	126
§3—5 可控硅器件	132
一、可控硅器件的结构	132
二、可控硅器件的工作特点	133
三、可控硅器件的工作原理	135
四、可控硅的伏安特性	137
五、可控硅的主要参数	137
习题三	138
第四章 晶体管放大器原理	141
§4—1 单管放大器	141
一、共发射极基本放大电路	141
二、静态工作情况分析	143
三、晶体管放大器的图解分析	147
四、静态工作点对波形的影响	151
五、交流负载线	152
六、等效电路分析法	154
§4—2 放大器工作点的稳定	158
一、温度对静态工作点的影响	158
二、稳定静态工作点的方法	159
§4—3 负反馈放大器	163
一、反馈的基本概念	163
二、反馈的方式	163
三、反馈的判断	166
四、负反馈放大电路的一般形式	167
五、负反馈对放大电路性能的影响	168

§4—4	放大器的主要性能指标	171
一、	放大倍数	171
二、	通频带	172
三、	信噪比	172
§4—5	组容耦合多级放大器	173
一、	级间耦合方式	173
二、	阻容耦合放大器的基本性能	175
习题四		179
第五章	常用放大器	183
§5—1	直流放大器	183
一、	直流放大器的耦合方式	183
二、	零点漂移	186
§5—2	差动放大器	186
一、	差动放大器(又叫差分放大器)的基本电路及工作原理	186
二、	典型的差动放大电路	189
三、	具有恒流源的差动放大器	190
四、	差动放大器的其它几种接法	191
§5—3	场效应管放大器	194
一、	自给栅偏压放大电路	194
二、	混合偏置电路	194
三、	静态工作点	195
四、	电压放大倍数、输入电阻和输出电阻	197
§5—4	射极输出器	198
一、	具有电压串联深度负反馈作用	198
二、	输出电压与输入电压位相相同,放大倍数略小于1	198
三、	输入电阻高	199
四、	输出电阻低	200

五、射极输出器的应用.....	201
§5—5 功率放大器.....	203
一、功率放大器的特点及分类.....	203
二、单管甲类功率放大器.....	205
三、变压器耦合推挽功率放大器.....	209
四、无变压器功率放大器.....	211
§5—6 放大器在医学中应用举例.....	214
习题五	217
第六章 运算放大器.....	219
§6—1 集成运算放大器简介.....	219
一、集成运放的组成方框图及符号表示.....	220
二、集成运放基本单元电路分析.....	221
三、国产集成运放5G23.....	225
§6—2 运算放大器的主要性能指标.....	227
一、运算放大器的主要参数.....	227
二、理想运算放大器.....	230
§6—3 加法器与减法器.....	231
一、比例运算放大器.....	232
二、加法器.....	233
三、减法器.....	235
§6—4 积分器与微分器.....	236
一、积分器.....	236
二、微分器.....	239
§6—5 对数放大器.....	240
一、对数放大器.....	240
二、反对数放大器.....	242
§6—6 乘法器与除法器.....	242
一、乘法器.....	242

二、除法器	244
三、集成化乘法器及其应用	245
§6—7 运放在医学中应用举例——心电图机中的前置放大 和电压放大	245
一、前置放大器	246
二、电压放大器	247
习题六	248
第七章 振荡电路	250
§7—1 反馈型振荡器的基本原理	250
§7—2 LC振荡器	252
一、变压器反馈式振荡器	253
二、电感反馈式振荡器	256
三、电容反馈式振荡器	258
四、电路举例	259
§7—3 RC振荡器	261
一、RC相移式振荡器	261
二、文氏桥振荡器	263
§7—4 石英晶体振荡器	268
一、石英晶体谐振器的基本结构和性能	268
二、石英晶体振荡器的基本原理	270
三、应用举例	272
§7—5 间歇振荡器	273
§7—6 调制与解调	276
一、简介	276
二、电路举例	277
习题七	280
第八章 脉冲电路	283
§8—1 脉冲的基本概念	283

一、脉冲的定义	283
二、脉冲的主要参数	284
三、脉冲电路	285
§8—2 晶体管开关特性	286
一、二极管的开关特性及应用	286
二、三极管的开关特点和倒相器	292
§8—3 双稳态触发器	294
一、工作状态	294
二、状态转换	296
三、触发方式	297
§8—4 单稳态触发器	300
一、工作原理	300
二、运放组成的单稳触发器	302
§8—5 多谐振荡器	303
一、工作原理	304
二、运放组成的多谐振荡器	305
§8—6 射极耦合触发器	306
一、工作原理	307
二、回差现象及减少措施	308
三、施密特电路的应用	309
§8—7 锯齿波电压发生器	311
习题八	313
第九章 数字电路	316
§9—1 门电路	316
一、逻辑状态的表示	316
二、“与”逻辑关系和“与”门电路	317
三、“或”逻辑关系和“或”门电路	320
四、“非”逻辑关系和“非”门电路	321

五、组合逻辑关系和组合门	322
§9—2 集成门电路及数字电路的分类	325
一、集成门电路简介	325
二、集成门电路的应用	329
§9—3 计数制	331
一、计数制的简介	331
二、十进制	331
三、二进制	331
四、十进制数与二进制数之间的转换	333
五、二进制数表示十进制数	334
§9—4 $R-S$ 触发器	335
一、基本 $R-S$ 触发器	335
二、时钟控制的 $R-S$ 触发器	338
§9—5 D 触发器	341
一、 D 型触发器	341
二、维持阻塞型 D 触发器	342
§9—6 编码器和译码器	343
一、编码器	343
二、译码器	347
§9—7 计数器	351
一、二进制计数器	351
二、十进制计数器	354
习题九	356

第一章 电路基础

由电阻、电感、电容和电源晶体管等元件按一定形式组合而成的电路，是电子技术中的基本单元。电路中的电流往往包含有直流与交流两种成分。作为本书的基础部分，本章主要介绍直流电路和交流电路的一些基本概念、基本定理和电路的工作状态，最后再讨论一下三相交流电的基本知识。

§1—1 直流电路的几个基本概念

一、电流和电压的参考方向

我们已经知道，正电荷移动的方向规定为电流的实际方向。然而，在较为复杂的直流电路中，各支路电流的实际方向往往难于判断。至于交流电路中的电流，由于其方向在随时变化，亦很难用一个固定的箭头来表示其实际方向。为了分析和计算上的方便，我们引入电流参考方向这一概念。参考方向可以任意选定，在电路图中用箭头表示。所选的电流参考方向并不一定与电流的实际方向一致。若电流的参考方向与它的实际方向一致时，则计算结果电流为正值，反之，若电流的参考方向与其实际方向相反时，则计算结果电流为负值。值得说明的是，只有电流参考方向选定之后，电流值才有正负之分。电流参考方向除用箭头表示外，还可以用双下标法表示，例如 I_{ab} 表示，电流的参考方向由 a 到 b 。

电路中两点之间的电压的实际方向，规定为高电位点指向低电位点。既然为电流引入了参考方向，电压也需要一个参考方向。电压的参考方向，在电路图中用箭头($\rightarrow$)表示。箭头的方

向表示从高电位指向低电位。同理，电压的参考方向可能与实际方向相同，也可能相反。当电压的参考方向与其实际方向一致时，则电压为正值；若电压的参考方向与实际方向相反时，则电压为负值。在电路中电压的参考方向除了用箭头表示外，还可以用“+”、“-”符号来表示。“+”号表示高电位端，“-”号表示低电位端；也可以用双下标法表示，例如 U_{ab} 表示电压的参考方向由 a 指向 b 。

二、支路、节点和回路

电路中的每一分支称为支路。支路可以由一个元件组成，也可以由若干个元件组成。

电路中三个或三个以上支路的连接点称为节点。

电路中任一闭合的路径称为回路。

§1—2 基尔霍夫定律

在分析简单电路时，应用欧姆定律就可以解决问题。然而，在实际应用中，大多数是由电阻和电源形成的几个回路而构成的复杂电路，仅用欧姆定律是不够的，必须利用基尔霍夫定律，它包括电流定律和电压定律两部分。

一、基尔霍夫第一定律

基尔霍夫第一定律也称基尔霍夫电流定律。它是用来确定电路中任一节点处各电流之间关系的定律，是根据电流的连续性原理得到的。

如图1—1所示的电路，是由 ACB 、 AB 和 ADB 三条支路组成的，电路中的节点为 A 和 B 。由于电流的连续性，电路中任何一点（节点也在内）均不能有电荷的堆积。因此，在任一时刻，流入节点的电流总和必定等于流出该节点的电流总

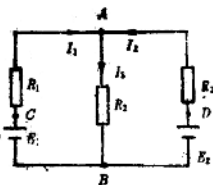


图1—1 电流定律说明图

和。对于图1—1中的节点A可以写出

$$I_1 + I_2 = I_3 \quad (1-1)$$

上式又可写成

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

若规定流入节点的电流为正，由节点流出的电流为负，则电路中任一节点处电流的代数和等于零。用数学式表示为

$$\Sigma I = 0 \quad (1-2)$$

上式说明，在任一时刻对电路中任一节点，所有支路电流的代数和等于零。

如前所述，由于电路各支路电流方向往往难以判定，因此，在列方程时，可先任意假设电流的参考方向。当计算结果电流为正值时，说明电流的实际方向与假设的参考方向一致；若电流为负值时，则说明电流实际方向与假定的参考方向相反。

图1—1中A、B两个节点，虽然可以列出两个方程，但只有一个独立的。因此，电路中若有 n 个节点，那么只能列出 $(n-1)$ 个独立方程。

基尔霍夫第一定律通常是运用于节点的，但对于包围 n 个节点的部分电路的闭合面也是适用的。如图1—2所示的电路中，闭合面 S 包围的电路有三个节点，由于电流的连续性，通过该闭合面的电流代数和也恒等于零，即

$$I_1 - I_2 + I_3 = 0$$

图1—2 电流定律的推广

例如，图1—3所示的晶体三极管的基极电流 I_b 、发射极电流 I_e 和集电极电流 I_c 之间就具有上述关系，即

$$I_e = I_c + I_b$$

这是由于我们假定用一个闭合面 S 把晶体管包围起来, 则流出闭合面的电流 I_e 应等于流入闭合面的电流 I_b 与 I_c 之和。

二、基尔霍夫第二定律

基尔霍夫第二定律又称

基尔霍夫电压定律。它是用

来确定回路中各段电压之间的关系的定律。我们知道, 从电路中任一点出发, 绕任一回路一周回到该点时, 总的电势变化应等于零。鉴于这个事实, 可得出电压定律, 即在任一时刻, 沿电路中任一回路电压降的代数和恒等于零。其数学表示式为

$$\sum U = 0 \quad (1-3)$$

在运用基尔霍夫第二定律列回路电压方程时, 需先假设一个绕行方向(顺时针或逆时针均可)。凡回路中各元件电压的参考方向(即电位降落方向)与假设的绕行方向一致者, 则该电压取正号。电压的参考方向与绕行方向相反者, 则该电压取负号。这里所说的回路元件包括电阻、电源等。

如图1-4所示, 该电路共有三个回路 $acba$ 、 $abda$ 和 $acbda$ 。对每一个回路均可用基尔霍夫第二定律列出一个方程, 故此电路可列出三个回路电压方程。设三个回路的绕行方向均为顺时针, 则三个回路的电压方程分别如下:

$$-I_1 R_1 - I_2 R_2 + E_1 + E_2 = 0$$

$$I_2 R_2 - I_3 R_3 - E_2 = 0$$

$$-I_1 R_1 - I_3 R_3 + E_1 = 0$$

把三个方程式中的所有电动势移到等号右边, 得

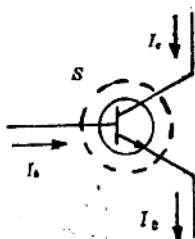


图1-3 闭合面的电流定律

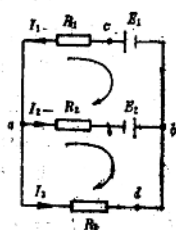


图1-4 多回路电路

$$-I_1 R_1 - I_2 R_2 = -E_1 - E_2$$

$$I_2 R_2 - I_3 R_3 = E_2$$

$$-I_1 R_1 - I_3 R_3 = -E_1$$

上面各式表明，在任意一个回路中，各段电阻上电压降的代数和等于电动势的代数和，这是基尔霍夫第二定律另一种表示式，写成一般式为

$$\sum IR = \sum E \quad (1-4)$$

应该指出，在应用式(1-4)时，等号左边各段电压的正、负号规定与前面相同，而等号右边电动势的正、负号则与前面的规定相反，即电动势的方向（在电源内部由负极指向正极）与绕行方向一致时，取正号；相反时，则取负号。

同样应该说明的是，在选取回路时，也应注意它们的独立性。上面三个方程式中只有两个是独立的，因为它们中的任意两个方程式相加减均可得出第三个方程式。在一般情况下，基尔霍夫第二定律能提供的独立方程个数等于电路支路数 m 与独立节点数 $(n-1)$ 的差值，即

$$l = m - (n - 1)$$

l 为独立回路方程数。

利用基尔霍夫两个定律求解电路时，应按照下面步骤进行：

(1) 先选定各支路的电流方向；

(2) 应用基尔霍夫电流定律，列出 $(n-1)$ 个节点电流方程；

(3) 假设回路的绕行方向；

(4) 应用基尔霍夫电压定律，列出 $l = m - (n - 1)$ 个回路电压方程；

(5) 联立求解方程组，即可求出各支电流的大小及各支路电压值。如求出的电流 I 为正值，说明假定方向与实际方向一致；若 I 为负值，说明假定方向与实际方向相反。

【例题1-1】一电路仍如图1-4所示，其中 $E_1 = 20\text{V}$ ， $E_2 = 30\text{V}$ ， $R_1 = 10\Omega$ ， $R_2 = 6\Omega$ ， $R_3 = 5\Omega$ ，求通过三个支路的电流大小和方向。