

医用电子技术 基础及其应用

YIYONG DIANZI JISHU JICHU JIQI YINGYONG

甘 心 照 编著

人 民 卫 生 出 版 社



73.79
155

医用电子技术基础及其应用

甘 心 照 编 著

人 民 卫 生 出 版 社

8510047

dt74/06

医用电子技术基础及其应用

甘 心 照 编 著

人 民 卫 生 出 版 社 出 版

(北京市崇文区天坛西里10号)

北 京 顺 义 寺 上 印 刷 厂 印 刷

新 华 书 店 北 京 发 行 所 发 行

787×1092毫米16开本 25 $\frac{1}{2}$ 印张 5插页 564千字

1982年5月第1版第1次印刷

1984年10月第1版第2次印刷

印数: 7,201—13,400

统一书号: 14048·4139 定价: 3.45元

5400132

前 言

医用电子技术是现代医学领域中的重要组成部分，用以解决和协助解决医学临床的诊断、治疗、检验、监护、抢救等问题；从过去传统手工操作中解放出来，朝着高准确性、高效率、高速、自动化方向发展，促进医学科学和医疗卫生事业的发展。

为帮助我国广大的医务工作者、学生、技工尽快地学习和掌握医用电子技术，编写了《医用电子技术基础及其应用》这本书。内容着重于基本概念和原理的阐述。首先对有关电和电路的基本知识作一简略介绍；然后对医用电子仪器和设备广泛使用的晶体管电路、电子管电路、脉冲与数字电路、集成电路作比较详细的定性讲解；再对我国目前使用较多的和具有代表性的国产医用电子仪器和设备作了介绍，重点分析电路原理；还对目前我国已经普及使用的心电图机和A型超声诊断仪的维修作了较详细的介绍；最后，安排了实验内容，就是自己动手将“A型超声诊断仪”改制成“A型超声诊断描记仪”，从而在学习的基础上来一次实践。

医学院校、医疗事业等单位如果将本书选作试用教材，重点可放在第二、第四、第六章，大约需80~100学时讲授完基本内容。

本书由雷成斌同志审阅，并提供了许多校正意见；在编写过程中，得到了余衍甲、柴永福、吴月珠、王旭高等同志的帮助和支持；刘增强、邹丽萍等同志绘制了书中大部分插图。在此一并致以衷心的感谢。

本书内容一部分是本人多年来工作和学习的心得体会，一部分是根据一些参考书和文献资料选编的。限于本人的水平，错误和不妥之处一定不少，希望读者提出宝贵意见，以便今后修订时提高。

甘心照

1981年 于南京大学

目 录

第一章 电和电路的基本知识	1
第一节 电的基本知识	1
一、电流	1
二、直流电	1
三、电场、电位、电压、电源和电动势	1
四、电功和电功率	3
五、交流电	3
六、交流电的最大值和有效值	4
七、交流电的相位和相位差	4
第二节 电子元件	5
一、电阻器	5
二、电容器	7
三、电感器	8
四、变压器	9
第三节 电路的基本定律及其基本运算	10
一、电路的基本概念	10
二、欧姆定律	10
三、电阻的串联和并联	11
四、简单电路的计算	14
五、基尔霍夫定律	15
六、复杂电路的计算	17
第四节 交流电路	19
一、纯电阻电路	19
二、纯电容电路	20
三、纯电感电路	22
四、用复数表示正弦交流电	23
五、正弦交流电路的计算法——符号法	25
第五节 串联谐振和并联谐振	27
一、串联谐振	27
二、并联谐振	28
第二章 半导体器件电路基础	31
第一节 晶体二极管的结构及原理	31
一、半导体及其特性	31
二、P型半导体和N型半导体	31
三、PN结的形成(晶体二极管的结构)和特性	32
第二节 晶体二极管的伏安特性和参数	34
一、晶体二极管的伏安特性	34
二、晶体二极管的主要参数	35

第三节 晶体三极管的结构及放大作用原理	36
一、晶体三极管的结构	36
二、晶体三极管的放大作用	37
第四节 晶体三极管的特性曲线和参数以及 h 参数等效电路	40
一、输入特性	40
二、输出特性	42
三、晶体三极管的基本参数	43
四、晶体三极管 h 参数等效电路	46
第五节 晶体管放大器的基本分析方法和三种连接方式	46
一、图解法	47
二、计算法	54
三、放大器的三种连接法	55
第六节 阻容耦合放大器	56
一、工作点温度稳定电路	57
二、电压放大倍数	59
三、频率响应	59
四、输入阻抗和输出阻抗	61
五、多级放大器	63
第七节 反馈放大器	64
一、反馈的基本概念	64
二、反馈对放大器性能的影响	65
三、反馈类型的判别方法	68
四、几种类型负反馈典型电路	69
第八节 功率放大器	74
一、甲类功率放大器	74
二、变压器耦合乙类推挽功率放大器	76
三、功率放大器波形失真及其克服方法	78
第九节 直流放大器	79
一、直接耦合放大电路	79
二、差分放大电路(差动放大电路)	81
第十节 运算放大器	88
一、运算放大器的主要性能参数	89
二、加上负反馈电路后的运算放大器	90
三、运算放大器在运算方面的应用举例	91
第十一节 调谐放大器	93
一、调谐放大器	93
二、参差调谐放大器(简称参谐放大器)	95
三、选频放大器	95
第十二节 场效应管及场效应管放大器	97
一、结型场效应管	97
二、绝缘栅场效应管	100
三、场效应管的主要参数	101
四、场效应管放大器	102

第十三节 晶体管正弦波振荡器	104
一、正弦波振荡器的基本原理	104
二、RC 移相振荡电路	104
三、RC 电桥 (文氏桥) 振荡器	105
四、LC 振荡电路	108
第十四节 直流电源	110
一、整流电路	110
二、电源滤波器	115
三、倍压整流电路	117
四、稳压电路	118
第十五节 调幅与检波	124
一、调幅	124
二、检波	126
第三章 电子管电路基础	128
第一节 电子二极管	128
一、电子管及热电子发射	128
二、电子二极管的结构及基本特性	129
三、充气二极管	130
四、气体稳压管	131
第二节 电子三极管	131
一、电子三极管的结构及放大原理	131
二、电子三极管的特性曲线和参数	133
三、三极管的极间电容及其影响	136
第三节 多极电子管和示波管	136
一、电子四极管	136
二、五极管	137
三、束射四极管 (简称束射管)	137
四、遥截止管	138
五、复合管和多栅管	138
六、示波管	139
第四节 电子管放大器的分析方法及其和晶体管放大器的比较	141
一、电子管放大器的分析方法	141
二、电子管放大器与晶体管放大器的比较	144
第五节 电子管放大器	146
一、电子管阻容耦合放大器	146
二、电子管功率放大器	148
三、电子管反馈放大器	150
四、电子管直流放大器	152
五、调谐放大器	153
第六节 电子管正弦波振荡器和电子管稳压器	156
一、电子管振荡器	156
二、电子管稳压器	157

第四章 脉冲与数字电路基础	160
第一节 基础知识	160
一、脉冲波形及其参数	160
二、RC 电路的充电与放电	161
三、晶体二极管的开关特性	165
四、晶体三极管的开关特性	166
第二节 基本脉冲波形变换电路	170
一、微分电路	170
二、积分电路	172
三、限幅器	172
四、波形钳位电路	175
五、RC 分压器	177
第三节 基本逻辑电路	179
一、与门电路	179
二、或门电路	181
三、非门电路	182
四、与非门电路	184
第四节 双稳态触发器	185
一、电路的特点	185
二、两个稳定状态	185
三、触发翻转	186
四、加速电容和负偏压 E_b 的作用	190
五、电子管双稳态触发器	191
第五节 射极耦合触发器(施密特触发器)	192
一、工作原理	192
二、滞后现象及其克服办法	194
三、应用举例	194
第六节 单稳态触发器	195
一、典型电路	195
二、工作过程	196
三、触发方式	197
四、射极耦合单稳态触发器	197
五、电子管单稳态触发器	199
六、单稳态触发器应用举例	200
第七节 多谐振荡器	201
一、电路特点	201
二、工作原理	201
三、电子管多谐振荡器	202
第八节 锯齿波发生器	203
一、锯齿波	203
二、简单的锯齿波电路	204
三、恒流源锯齿波电路	205

四、自举电路·····	206
五、密勒电路·····	208
六、电子管锯齿波发生器·····	210
第九节 间歇振荡器·····	211
一、自激间歇振荡器·····	211
二、他激间歇振荡器·····	213
三、电子管间歇振荡器·····	214
第十节 同步与分频·····	215
一、基本概念·····	215
二、间歇振荡器的同步·····	215
三、间歇振荡器的分频·····	217
第十一节 基本计数电路·····	217
一、二进制计数器·····	217
二、十进制计数器·····	222
三、显示与译码·····	225
第五章 集成电路基础·····	229
第一节 集成电路的特点及其分类·····	229
第二节 线性集成电路·····	230
一、集成化低频放大器·····	230
二、集成化功率放大器·····	231
三、运算放大器·····	232
四、集成化稳压电源·····	233
第三节 数字集成电路·····	234
一、DTL 门电路·····	234
二、TTL 门电路·····	235
三、HTL 门电路·····	235
第四节 集成门电路组成的脉冲电路·····	237
一、双稳态电路·····	237
二、单稳态电路·····	238
三、施密特电路·····	241
四、多谐振荡器·····	242
第六章 医用电子仪器和设备·····	245
第一节 阅读整机电子电路的一般方法·····	245
一、方框原理图的阅读·····	245
二、电原理图的阅读·····	246
第二节 心电图机·····	247
一、心电图机的应用·····	247
二、心电图的导联·····	248
三、心电图机的主要指标·····	250
四、XD-4 型心电图机的电路分析·····	251
1. 输入部分(253) 2. 前置放大器及 1mV 标准电压发生器(254) 3. 电压放大器(256) 4. 功率放大器(257) 5. 电源部分(259) 6. 描笔记录器和走纸装置部分(260)	

第三节 A型超声诊断仪	261
一、超声诊断的物理基础简述	261
二、A型超声诊断仪的基本原理	262
三、CS-3型超声诊断仪整机电路分析	265
1. 同步电路(主控振荡器)(267)	
2. 升辉电路和扫描电路(267)	
3. 延时电路(268)	
4. 发射电路(269)	
5. 高频放大器(270)	
6. 检波电路与视频放大器(271)	
7. 电源电路和示波管电路(273)	
第四节 M型超声心动图仪	274
一、M型超声心动图仪的基本原理	274
二、XD-1型超声心动诊断仪电路分析	276
1. 同步电路(主控振荡器)(276)	
2. 发射电路(276)	
3. 接收电路(278)	
4. 深度扫描电路(280)	
5. 时间扫描(慢扫描)电路(281)	
6. 示波系统(282)	
7. 电源部分(282)	
第五节 心脏起搏器	284
一、概述	284
二、非同步型心脏起搏器	284
三、同步型心脏起搏器	286
四、QAX-I体外按需型心脏起搏器电路分析	287
1. 脉冲发生器(起搏器)(287)	
2. 感知放大器(心电信号选频放大级)(287)	
3. (按需功能)控制器(289)	
4. 起搏与自搏指示电路(290)	
5. 电源(290)	
五、AMQ-I型埋藏按需起搏器电路分析	290
1. 脉冲发生器(290)	
2. 感知放大器(291)	
3. 按需功能控制器(291)	
4. 强干扰衰减网络(292)	
5. 输出保护电路(292)	
第六节 电针麻治疗仪	292
一、电针麻治疗仪的结构原理及其作用	292
二、G6805型治疗仪电路分析	295
三、电针麻治疗仪操作方法简介	296
第七节 差频电疗机	297
一、差频电疗机原理及作用	297
二、CD-I型差频电疗机电路分析	299
1. 通道部分(299)	
2. 控制电路(301)	
3. 电源电路(302)	
第八节 超声波治疗机	303
一、超声波的治疗作用及其适应症	303
二、超声波治疗机的结构原理	303
三、74型超声波治疗机电路分析	304
1. 高频振荡器(304)	
2. 电源电路(305)	
3. 控制电路(305)	
四、超声波治疗方法简介	306
第九节 同步呼吸机	306
一、概述	306
二、JD-I型同步呼吸机的大体结构和技术要求	307
三、JD-I型同步呼吸机电路分析	308
1. 控制呼吸状态(308)	
2. 同步呼吸状态(311)	
3. 主动呼吸与被动呼吸相互转换(313)	
4. 呼吸状态显示电路(314)	
5. 电源(315)	

第十节 电子血细胞计数器	315
一、概述	315
二、XQ-I型血细胞计数器的特点及大体结构	315
三、XQ-I型血细胞计数器主机电路分析	317
1. 脉冲形成和脉冲放大电路(317)	
2. 脉冲幅度甄别器(318)	
3. 分频器(320)	
4. 计数器和音响监听器(320)	
5. 电源部分(323)	
四、XQ-I型血细胞计数器自控电路分析	324
1. 自控器单元电路分析(324)	
2. 自控器的自动控制过程(326)	
第十一节 心电监护仪	327
一、电子监护装置简介	327
二、JXJ-1型心电监护仪的心电速率监护系统电路分析	327
1. 心电速率指示部分(330)	
2. 心率上限比较部分(快挡报警)(331)	
3. 心率下限比较部分(慢挡报警)(331)	
4. 报警启动部分(332)	
5. 声光报警发生器(333)	
第十二节 《医学现代化的重要设备——电子计算机》介绍	334
一、电子计算机的一般介绍	334
1. 电子计算机的种类和特点(335)	
2. 电子数字计算机的组成及解题过程(335)	
3. 电子计算机的硬件和软件(336)	
二、电子计算机在医学现代化中的应用	336
1. 在医学诊断方面的应用(337)	
2. 电子计算机在基础医学研究中的应用(337)	
3. 电子计算机在现代化监护病房中的应用(338)	
4. 电子计算机在医院自动化方面的应用(338)	
三、国产TQ-19(A)型医用数据处理计算机简介	338
四、医用电子计算机应用一例——用电子计算机的叠加程序非创伤性记录体表希氏束电图	339
第七章 心电图机和A型超声诊断仪的维修	343
第一节 维修电子仪器的一般方法	343
一、准备工作	343
二、内部初查	344
三、电路的一般检查方法	345
第二节 心电图机的维修	346
一、由于使用不当产生的几种常见异常现象及处理方法	346
1. 交流电干扰(346)	
2. 肌肉电流干扰(347)	
3. 图形基线漂移	347
二、心电图机本身常见故障及其修理(以XD-4型为例)	348
1. 指示灯不亮(348)	
2. 指示灯亮,但按1mV定标开关描笔不动作(348)	
3. 描记下1mV定标电压偏低(即描笔移动范围小)(349)	
4. 描笔偏向一边,无法调至中心(349)	
5. 线性不好(349)	
6. 干扰(350)	
7. 基线漂移(350)	
8. 热笔抖动(350)	
9. 阻尼不适(350)	
10. 整流、滤波、稳压电源部分故障(351)	
11. 其它常见故障(352)	
第三节 A型超声诊断仪的维修	352
一、仪器的维护	352
二、一般常见故障发生的范围	353
三、CS-3型超声诊断仪常见故障的检修	354
1. 通电后全机不工作,指示灯不亮(354)	
2. 接上电源后烧断保险丝(354)	
3. 指	

示灯亮, 辉度旋钮开到最大, 调节“左右”、“上下”旋钮仍不见荧光屏上光点(354)	
4. 聚焦失去作用其基线和波形模糊不清(356)	
5. 无扫描线(基线)或扫描线很短(356)	
6. 辉度不足, 波形很暗(356)	
7. 波形跳动不稳定(357)	
8. 波形来回扭动并出现叠形(357)	
9. 扫描线有水纹状波或似蚯蚓动状的波形(357)	
10. 有扫描线但无发射脉冲或发射脉冲不稳定(357)	
11. 增益旋钮旋至“10”抑制旋钮旋至“0”仍无反射波(358)	
12. 作肝区检查时小波多(358)	
13. 灵敏度低(359)	
第八章 将“A型超声诊断仪”改制成“A型超声诊断描记仪”	360
第一节 概述	360
第二节 原理简述	361
一、快直线发生器(主控振荡器)	361
二、慢直线发生器	363
三、比较器	363
四、取样脉冲整形电路	363
五、取样保持电路	364
六、延时电路	365
七、发射电路	365
八、其它部分	365
九、记录器	365
十、电源部分	366
第三节 改制方法	366
一、原有仪器的改装	366
二、新增加部分	366
三、元件选择	368
四、印刷电路板制作	371
五、装配	371
第四节 调试	373
一、电源的调试	373
二、快慢直线电压发生器的调试	374
三、延时电路和发射电路的调试	376
四、比较器调试	377
五、取样脉冲整形电路调试	377
六、阻容分压器和取样保持电路的调试	378
七、记录器的连接	378
八、整机主要特性测试	381
九、使用注意事项	382
附录 I 电子管、半导体器件、半导体集成电路的命名方法	383
一、电子管的命名方法	383
二、半导体器件的命名方法	384
三、集成电路的命名方法	386
附录 II 分贝的概念及逻辑电路符号对照表	387

一、分贝的概念·····	387
二、基本逻辑电路符号对照表·····	388
附录Ⅲ 万用表和电子示波器的使用方法·····	388
一、万用表的使用方法·····	388
二、电子示波器的使用方法·····	391

第一章 电和电路的基本知识

作为学习医用电子技术的开端，在这一章里我们简略地介绍和复习一下有关学习医用电子技术不可缺少的基础知识——电和电路的基本知识。

第一节 电的基本知识

一、电流

我们知道灯泡通上了电就会发光，电扇通上了电就会旋转，电车通了电就能行驶，收音机通了电就会发出声音，这都是电的作用的结果。电有正电荷和负电荷两种。

一只灯泡在电的作用下，电流流得多一些，就亮一些，流过得少些，就暗一些。如果灯亮一些，我们就说流过灯泡的电荷多一些，反之就说流过灯泡的电荷少一些。电荷有规则的运动，称为电流，电流的强弱叫做电流强度，常用“ I ”表示。电流强度的单位是“安培”，简称“安”，常用字母“A”表示。比安培小的单位有毫安（mA）和微安（ μA ）。它们之间的换算关系是

$$1A（安）=1000mA（毫安）$$

$$1mA（毫安）=1000\mu A（微安）$$

人们规定把正电荷流动的方向作为电流的方向。在导线中，电流实际上是带负电的电子的流动所形成的，但其效果与等量的正电荷反方向流动完全相同，因此其电流方向是与电子流的方向相反。如图1-1表示有电流的一段导线，其中自由电子（带负电荷）从A端流向B端，而电流 I 的方向则是从B到A。

二、直流电

电流的方向固定不变的，叫直流电。电流的方向不变，大小也不变的，叫做稳定直流，如图1-2（a）所示。方向不变，而大小随时间改变的，叫做脉动直流，如图1-2（b）所示。

三、电场、电位、电压、电源和电动势

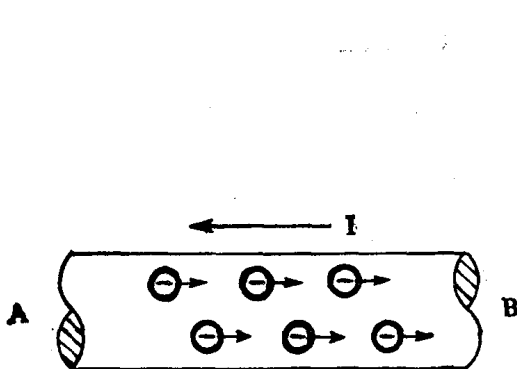
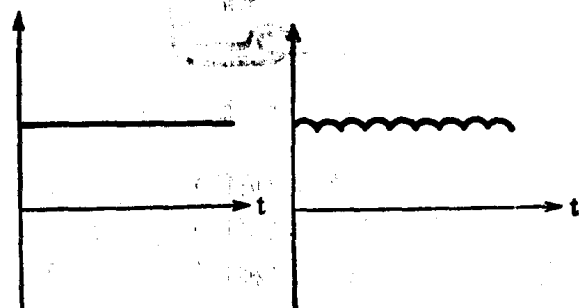


图 1-1 电子流方向与电流方向相反



(a) 稳定直流

(b) 脉动直流

图 1-2 直流电

在电荷的周围，受到电荷的激励就会形成电场。电场是一种物质，并非用肉眼能看到它，但它确实存在。这好比空气，谁也看不见空气，但空气确实存在我们的周围。如果把电荷放在电场中，它就会受到电场的作用力。

为了说明电流是怎样产生的，可以用水流来作对比。我们把电比作水，电流就好比水流。假如有甲、乙两只水缸，中间有阀门“K”把甲乙两只水缸隔开，设甲缸的水位比乙缸高，如图 1-3 所示。当我们把阀门 K 一打开，就有水流从甲缸经过管子 P 流向乙缸。这是因为水总是从水位高处流向水位低处的。要水流动，就得有一个水位差。同样要在导体中有电流流过，就得在导体两端有一个电位差。电流也是从高电位流向低电位处的。

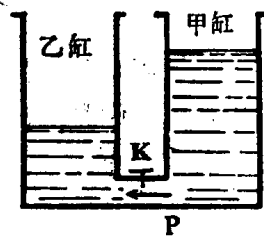


图 1-3 水从水位高处流向水位低处

在电路中，还常使用电压这个名称，它同电位差没有本质的区别。

电位和电压的实用单位是“伏特”，简称“伏”，常用字母“V”表示。比“伏特”小的单位还有毫伏（mV）和微伏（ μV ）。它们之间的换算关系是

$$1\text{ V (伏)} = 1000\text{ mV (毫伏)}$$

$$1\text{ mV (毫伏)} = 1000\text{ }\mu\text{V (微伏)}$$

要使灯泡一直亮下去，就要有电流一直通过灯泡才行。那么怎样才能维持连续不断的电流呢？实践告诉我们，必须要有一个电源，源源不断供应电荷，才能维持连续不断的电流。这好比用水泵来维持连续的水流一样。如图 1-4 所示，甲缸的水位总是高于乙缸的水位，在水泵外部，水总是从高水位处流向低水位处的，而在水泵内部，借助于水泵的力量可使水从低水位处流向高水位处，这样水就能连续不断地流通了。这里的水泵就起了一个维持一定水位差的原动力作用。与此类似，要使图 1-5 所示的电路不断地有电流，

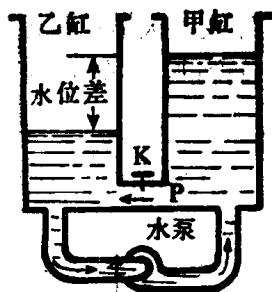


图 1-4 水泵维持水流

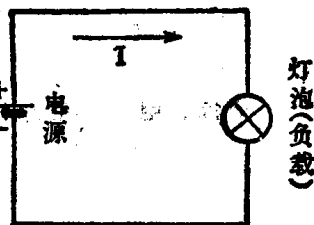


图 1-5 电源维持灯泡发光

就必须维持灯泡（又称为负载）的两端有电位差。电源（如电池、发电机等）就是产生并维持电位差的设备，电源正极的电位总是高于负极的电位，也就是电源有维持两点间的电位差的本领。衡量这种本领的物理量称为电动势。电动势常用“E”表示，它的单位和电压一样，也是用伏特。直流电源常用符号 $\begin{array}{|c|} \hline + \\ \hline - \\ \hline \end{array}$ 表示，其中“+”表示电源的正极，而“-”表示电源的负极。在电源外部，电流从高电位的正极通过灯泡流向低电位的负极，而在电源的内部，借助于电源本身的作用力（如电池的化学作用力），可使电流

从低电位流向高电位，这样就可维持灯泡一直有电流通过而发光。

四、电功和电功率

电流流过电气设备时，就把电能转换成其它形式的能量。电流流过灯泡，灯泡就发光，表明电能转换成光能；电流通过扬声器，扬声器发出声音，表明电能转换成声能；电流流过电炉，电炉发热，表明电能转换成热能；电流通过电动机时，使电动机转动，表明电能转换成机械能；等等。这种电流所做的功，简称电功。为了衡量电流做功本领的大小，常用电功率来表示。所谓电功率就是在单位时间内电流所做的功。常用字母“P”表示功，单位是瓦特，简称“瓦”。用字母“W”表示瓦特。常用的单位还有千瓦(KW)和毫瓦(mW)，它们的换算关系是

$$1\text{KW (千瓦)} = 1000\text{W (瓦)}$$

$$1\text{W (瓦)} = 1000\text{mW (毫瓦)}$$

电功率与电流、电压之间也存在一定的关系，即

$$P = VI \quad (1-1)$$

式中：P——功率(瓦)

V——电压(伏)

I——电流(安)

五、交流电

电流的方向和大小随时间作周期变化的，叫做交流电，如图1-6就是一种交流电的波形。

为了直观地描述交流电的性质，通常用波形图的方法。在平面上画二条相互垂直的直线，横的那条叫横轴，竖的那条叫纵轴，交点O叫原点，如图1-7所示。二条轴分别

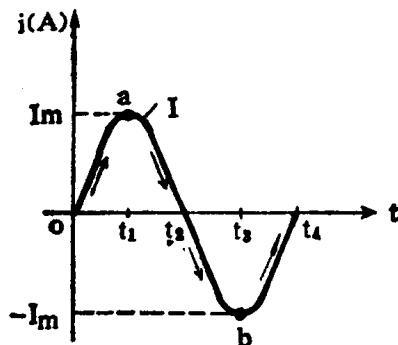


图 1-6 交流电

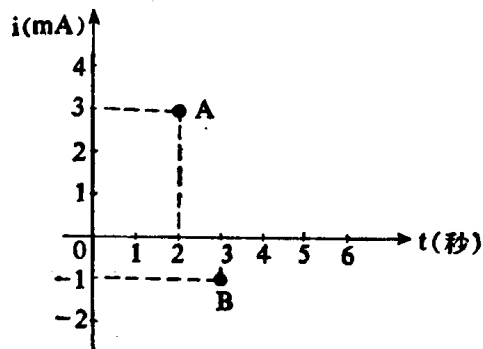


图 1-7 座标表示法

代表二个物理量。在这里横轴表示时间，原点在横轴上的意义就是指时间开始的意思。纵轴则表示电流，原点表示电流为零，其上面部分为正，其下面部分为负（即方向相反）。平面上任意一点在二根轴上的投影，就可以得到一个时间数值和一个电流数值。例如如图1-7中，A点在横轴上的投影是2，在纵轴上的投影是3。再看横轴和纵轴末端的单位，横轴单位是秒，纵轴单位是毫安。由此可知A点的意义就是在开始观察后2秒钟时，电路中电流的大小是3毫安。再如B点，就是在3秒钟时电路中的电流方向相反了，大小则为1毫安（习惯上常记为-1毫安）。

我们常用的交流电（由发电厂输送的）是随时间连续变化的，其波形图如图 1-6 所示。从图中可以看出：

时间 t 从 0 变化到 t_1 时，电流 i 由 0 上升到最大值 I_m ；

时间 t 从 t_1 变化到 t_2 时，电流 i 由最大值 I_m 下降到 0；

时间 t 从 t_2 变化到 t_3 时，电流 i 由 0 下降到负的最大值 $-I_m$ ；

时间 t 从 t_3 变化到 t_4 时，电流 i 由负最大值 $-I_m$ 又上升到 0。

之后，随着时间的继续变化，电流又重复以上的过程（时间 t 从 0 变化到 t_4 的过程），这就是交流电的变化规律。如此周而复始，不断循环。这种交流电往返变化一次所需的时间叫做周期，用字母 T 表示，单位是秒。而交流电在每秒钟里往返变化的次数叫做频率或周率，用字母 f 表示，单位是“赫兹”，简称“赫”，用“Hz”表示，比“赫”大的单位还有“千赫”（K Hz）和“兆赫”（M Hz），它们的换算关系是

$$1\text{KHz (千赫)} = 1000\text{Hz (赫)}$$

$$1\text{MHz (兆赫)} = 1000\text{KHz (千赫)}$$

我国工业用交流电的频率是 50 赫，也就是说，交流电每秒钟往返变化 50 次。

我国第一颗人造地球卫星发回来的“东方红”乐曲声其信号频率是 20.009 兆赫，也就是说，无线电波每秒钟变化 20.009 百万次。

频率和周期之间的关系是

$$T = \frac{1}{f} \quad (1-2)$$

例如：频率 50 Hz 的交流电，其周期 T 是 $\frac{1}{50}$ 秒，即 $T = 0.02$ 秒。

六、交流电的最大值和有效值

图 1-6 中交流电流 i 的数值是随着时间而变化的，在 a 点达到正的最大值 I_m ，在 b 点达到负的最大值 $-I_m$ ，这里 I_m 就是交流电流的最大值，也称为交流电流的幅值。

由于交流电是随着时间而变化的，单用最大值还不能反映它的实际效果，于是大家经常用有效值来表示交流电。有效值就是指：当交流电流流过某一电阻，它在该电阻上所产生的热量与某一数值的直流电流过同一电阻所产生的热量相同时，我们就把这个直流电的数值称为交流电的有效值。有效值和最大值的关系如下

$$i_{\text{有效值}} = \frac{1}{\sqrt{2}} I_m \approx 0.707 I_m$$

$$u_{\text{有效值}} = \frac{1}{\sqrt{2}} U_m \approx 0.707 U_m$$

平时所用的 220 V 交流电源以及用万用表测量出来的交流电压或交流电流都是指有效值，因此我们在表示交流电压或电流有效值时，不再注明小字“有效值”。

七、交流电的相位和相位差

在研究二个或二个以上交流电流的相互关系时，为方便起见，常把一个周期分成 360 度来表示，如图 1-8 所示，用弧度来表示就是 2π 弧度。例如交流电变化半个周期就可说是变化了 180° （ π 弧度），变化四分之一周期就可说是变化了 90° （ $\pi/2$ 弧度）等