

©姚有峰 主编

电子工艺实习教程

DIANZI GONGYI
SHIXI JIAOCHENG

中国科学技术大学出版社

电子工艺实习教程

姚有峰 主编

中国科学技术大学出版社
合肥·2008

内 容 简 介

本书以基本工艺知识和电子装配基本技术为主,对电子产品制造过程及典型工艺作了全面介绍,包括安全用电、常用元器件识别、万用表使用、焊接技术、印制电路板设计、装配与调试、实习产品介绍、测量仪器及测试技术等内容,是一本很有实用价值的教科书。

本书在内容选取上考虑到当前生产技术的实际水平及各行业应用电子技术的差异,在高新技术与传统技术,自动化与手工操作等方面统筹兼顾,合理安排,可供同类院校理工科专业师生参加电子工艺实习、课程设计、毕业设计及电子科技创新等使用。

图书在版编目(CIP)数据

电子工艺实习教程/姚有峰主编. —合肥:中国科学技术大学出版社. 2008. 8
(电工电子实验实训系列)

ISBN 978 - 7 - 312 - 02327 - 9

I. 电… II. 姚… III. 电子技术-教材 IV. TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 112565 号

出版 中国科学技术大学出版社

安徽省合肥市金寨路 96 号, 230026

<http://press.ustc.edu.cn>

印刷 合肥市美格印务有限公司印刷

发行 中国科学技术大学出版社

经销 全国新华书店

开本 710 mm × 960 mm 1/16

印张 9.25

字数 160 千

版次 2008 年 8 月第 1 版

印次 2008 年 8 月第 1 次印刷

定价 13.50 元

前 言

电子工艺实习是理工科专业的一门实训课程,它对培养大学生动手能力、实践能力和创新能力有着十分重要的意义。《电子工艺实习教程》是在理工科专业讲义《电子工艺实习指导》的基础上,经过五届学生的使用及使用过程中的反复修改、充实与更新编写而成的。可供理工科类院校有关专业学生参加电子工艺实习、课程设计、毕业设计及电子科技创新等使用。本书具有以下特点:

1. 在详细介绍常用电子元器件的基本知识、选择和使用的基礎上,结合具体的电子产品,训练学生读图能力和计算机操作技能,并为电子工艺实习、维修电子设备打下良好的基础。

2. 在介绍传统工艺的基础上,引入了电子技术的新技术、新工艺,引导学生开拓视野和创新。

3. 在编写电子工艺实习教程时,既重视基本工艺训练,又注意了电子产品生产过程中经常出现的工艺问题和解决的办法,并给学生留有独立思考和创新的余地。

本书由姚有峰策划并担任主编,李经达、赵江东参加编写。在本书的编写过程中,得到了聂丽教授的支持及同仁的帮助,在此一并表示感谢。

由于编者水平有限、编写时间仓促,书中疏漏、不足和错误之处恳请读者批评指正。

编 者

2008-6-27

目 录

前言	(I)
第 1 章 安全用电及安全操作	(1)
1.1 触电对人体的危害	(1)
1.1.1 电流对人体的危害	(1)
1.1.2 触电分析	(2)
1.2 触电急救及触电预防	(3)
1.2.1 触电急救	(3)
1.2.2 触电预防	(3)
1.3 电气设备的保护接地和保护接零	(4)
1.3.1 保护接地	(4)
1.3.2 保护接零	(5)
1.3.3 漏电保护开关	(6)
1.4 安全操作	(6)
1.4.1 安全操作知识	(6)
1.4.2 安全操作规程	(6)
第 2 章 常用电子元器件	(8)
2.1 电阻器和电位器	(8)
2.1.1 电阻器的主要性能参数	(8)
2.1.2 电阻器的标注方法	(9)
2.1.3 电位器	(11)
2.2 电容器	(12)
2.2.1 电容器的种类	(12)
2.2.2 电容器的主要参数	(13)
2.2.3 电容器的标注方法	(13)
2.3 电感器	(14)
2.3.1 电感器的分类	(14)

2.3.2 电感器的主要参数	(14)
2.3.3 电感器的标注方法	(15)
2.4 开关及接插件	(16)
2.4.1 开关与继电器	(16)
2.4.2 接插件	(18)
2.5 半导体分立器件	(19)
2.5.1 晶体二极管	(19)
2.5.2 晶体三极管	(20)
2.6 集成电路	(21)
2.6.1 集成电路分类	(21)
2.6.2 集成电路封装与引脚识别	(22)
2.6.3 集成电路使用注意事项	(23)
第3章 万用表使用及常用元器件检测	(25)
3.1 指针式万用表	(25)
3.1.1 指针式万用表结构	(25)
3.1.2 主要技术性能指标	(26)
3.2 数字万用表	(27)
3.2.1 数字万用表结构	(27)
3.2.2 主要技术性能指标	(27)
3.3 万用表使用及常用元器件检测	(28)
3.3.1 指针式万用表使用	(28)
3.3.2 数字式万用表使用	(31)
3.3.3 万用表使用注意事项	(32)
第4章 常用工具及焊接技术	(34)
4.1 常用工具	(34)
4.2 手工焊接技术	(37)
4.2.1 焊接材料	(37)
4.2.2 锡焊机理与条件	(39)
4.2.3 手工焊接技术	(40)
4.3 SMT 表面安装技术	(43)
4.3.1 SMT 主要特点	(44)
4.3.2 表面安装元器件	(44)

4.3.3 SMT 装配工艺及流程	(47)
4.4 无锡焊接技术	(52)
4.4.1 接触焊接	(52)
4.4.2 熔焊	(53)
第 5 章 PCB 印刷电路板制作	(55)
5.1 PCB 印制电路板的设计方法和原则	(55)
5.2 Protel 99 SE 的操作	(57)
5.3 PCB 印刷电路板设计	(69)
第 6 章 装配与调试	(72)
6.1 装配前的准备	(72)
6.1.1 绝缘导线的加工	(72)
6.1.2 屏蔽导线的加工	(74)
6.2 电子设备组装工艺	(75)
6.2.1 电子设备组装的内容和方法	(75)
6.2.2 整机装配工艺过程	(76)
6.3 测试与调整工艺	(78)
6.3.1 静态测试与调整	(78)
6.3.2 动态测试与调整	(80)
6.3.3 整机性能检测及试验	(82)
6.4 产品故障检测方法	(83)
6.4.1 观察法	(83)
6.4.2 测量法	(84)
6.4.3 替换法	(86)
6.4.4 比较法	(87)
第 7 章 实习产品介绍	(89)
7.1 多用充电器	(89)
7.1.1 实习目的	(89)
7.1.2 产品性能指标	(89)
7.1.3 产品工作原理	(89)
7.1.4 制作步骤及工艺要求	(91)
7.1.5 检测与调试	(94)

7.2 超外差收音机	(96)
7.2.1 实习目的	(96)
7.2.2 产品性能指标	(96)
7.2.3 超外差收音机工作原理	(97)
7.2.4 制作步骤及工艺要求	(98)
7.2.5 检测与调试	(101)
7.3 单片机最小系统	(106)
7.3.1 实习目的	(106)
7.3.2 产品性能指标	(106)
7.3.3 最小系统板工作原理	(106)
7.3.4 制作步骤及工艺要求	(108)
7.3.5 检测与调试	(109)
第8章 常用测量仪器与测试技术	(118)
8.1 电压测量技术	(118)
8.1.1 电压测量仪器的基本要求及分类	(118)
8.1.2 测量电压的基本方案	(119)
8.1.3 电压测量中应注意的问题	(124)
8.2 数字合成信号发生器	(124)
8.3 电子示波器	(130)
8.4 选择和使用电子测量仪器应注意的几个问题	(136)

第 1 章 安全用电及安全操作

随着科学技术的不断发展,电的应用越来越广泛,它对人们的精神文明和物质文明生活起到了巨大的促进作用。但同时也必须注意到,如果使用不当,它也会给人们带来灾害,即造成触电、损坏设备、甚至引起火灾和爆炸等事故。因此,必须掌握安全用电知识及安全操作规程,防止人身和设备发生不应有的损失。

1.1 触电对人体的危害

1.1.1 电流对人体的危害

当人体触及带电体、带电体与人体之间闪击放电或电弧波及人体时,人体与大地或其他导体构成电流通路,这一现象称为触电。触电分为电击和电伤两种。电击是指由电流通过人体内部造成人体器官的损伤,电伤是指电流对人体外部造成的局部伤害。

触电的危害实质上是指电流对人体的危害。而触电的危害程度与电流的大小和频率、以及电流通过人体的时间和途径等因素有关。工频电流的危害性大于直流电,特别是 40~100 Hz 交流电对人体最危险,工频市电 50 Hz 正在这个危险的频段,而当交流电频率达到 20 kHz 时对人体危害很小。通常流过人体的电流不足 1 mA 就能引起肌肉收缩、神经麻木,人体受到的电击强度达到 30 mA · s 以上时,就会产生永久性伤害。几十毫安电流通过人体达到 1 s 以上就能造成死亡,而几百毫安电流可使人严重烧伤,并且立即停止呼吸。通过人体电流的大小取决于所受的电压和人体电阻。人体电阻主要取决于皮肤电阻,它是受多种因素影响的,如皮肤干燥时电阻最大,约在 100 kΩ 以上,但会随电压升高而降低。而皮肤出汗潮湿时,电阻会降到 1 kΩ 以下。电流通过人体的时间越长,伤害越严重。电流的途径以从手到脚,从手到手最危险,因为这种情况下电流通过人体的要害部位——心脏。

人体接触的电压越高,对人体伤害越大。通常把对人体各部分组织没有任何损害的电压叫做安全电压。我国根据具体环境条件的不同规定了三个等级的安全电压,即 12 V、24 V 和 36 V。工地上常用的安全电压为 36 V,例如手提照明灯、危

险环境的局部照明和携带式电动工具等。如果环境潮湿或在金属构件上作业应采用 12 V 或 24 V 安全电压。倘若人体出汗,又用湿手接触 36 V 的电压时,同样会受到电击,此时安全电压也不安全了。

1.1.2 触电分析

按照人体触及带电体的方式和电流通过人体的路径,常见的触电可分为以下三种类型。

1. 单相触电

一般工作和生活场所供电为 380/220 V 中性点接地系统,当人体接触带电设备或线路中的某一相导体时,一相电流通过人体经大地回到中性点,人体承受相电压,这种触电形式称为单相触电。

单相触电事故占触电事故的 60%~70%。其危害程度与电网运行方式有关,一般接地电网比不接地电网的单相触电危险性大。如图 1.1 所示,在电网的中性点接地系统中,当人碰到任一根火线时,电流从火线经过人体、大地以及接地电阻构成回路,此时作用于人体上的电压是相电压。流过人体的电流主要取决于相电压 U_p 、人体电阻 R_t 及接地电阻 R_0 ,而接地电阻一般很小,这时,流过人体的电流则仅仅与人体电阻有关。因此,这类触电是十分危险的。如果人穿上绝缘鞋或地面垫有橡胶绝缘垫,则回路中电阻增加,通过人体的电流减小,危险性就大为减小。

反之如果湿手、身体出汗或赤脚、湿脚着地,危险性将大大增加,这种情况是绝对禁止的。一般 10 kV 和 35 kV 的高压电网多采用不接地电网,井下配电也常采用低压不接地电网。在此类电网系统中,当人体触及相线时,如图 1.2 所示,因输电线与大地之间存在分布电容 C_0 (图中 Z_j 为输电线对地绝缘电阻 R_j 和对地电容 C_j 的并联等效复阻抗),通过人体的电流经分布电容和大地形成回路,同样会造成危险。

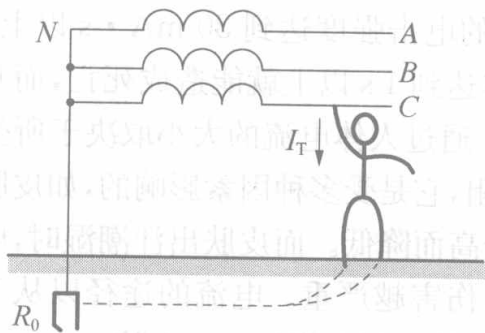


图 1.1 中性点接地系统的单相触电

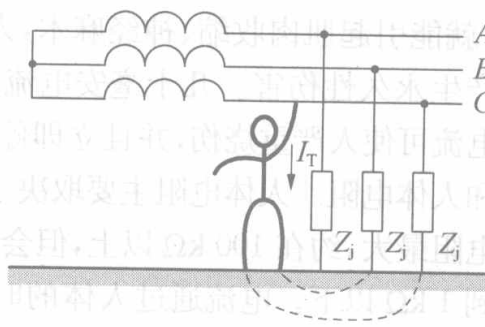


图 1.2 中性点不接地系统的单相触电

在正常情况下,电气设备的金属外壳是不带电的,但如果设备内部绝缘损坏而漏电,便成了外壳带电体。人一旦接触这个带电体,如图 1.3 所示,相当于单相触

电,这是常见的触电事故。因此对电气设备金属外壳必须采用接地或接零的保护措施。

2. 两相触电

两相触电就是人体同时触及两根相线。此时人体处于线电压 380 V 下,电流一相导体通过人的中枢神经系统和心脏流入另一相导体发生触电,对人的危害最严重,而且一般保护措施都不起作用,但此种触电情形较少见。

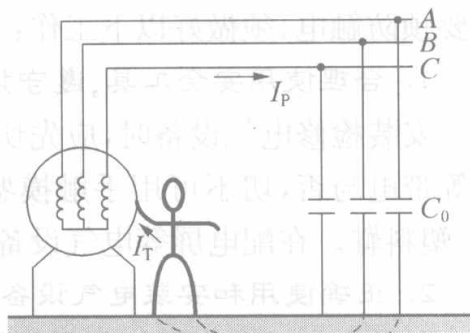


图 1.3 设备外壳带电造成的单相触电

3. 跨步电压触电

这类事故多发生在高压故障接地处。如电网断线落地、电气设备由于漏电使外壳的接地体上有较强的接地电流。这时,电流自接地体向四周流散,产生电位降。以地面上电流流入点为圆心,在 20 m 范围内不同圆周上具有不同的电位。当人走近带电体接地点时,两脚跨在地面上电位不同的两点所承受的电压称为跨步电压,由此引起的触电事故称为跨步电压触电。为避免这类触电事故发生,要求人们不要走近电力系统的接地装置附近及电网断线接地点 8 m 以内的地面。如必须通过可能存在跨步电压的区域时,只能是双脚并拢蹦跳行进。

1.2 触电急救及触电预防

1.2.1 触电急救

触电急救的基本原则是动作迅速,方法正确。当发现有人触电时,应当使触电者迅速脱离电源。其方法是,就近断开电源开关。若电源开关离触电场所较远,可用有绝缘柄的电工钳或干燥木柄的斧头切断电线,断开电源;或用干木板等绝缘物插入触电者身下,以隔离电流。当电线搭落在触电者身上或被挤压在身下时,可用干燥的衣服、手套、绳索及木棒等绝缘物作工具,拉开触电者或拉开电线,使触电者迅速脱离电源。

触电者脱离电源后,应立即抬到空气流通舒适的地方静卧休息。若呼吸困难,有痉挛现象,甚至呼吸停止,要马上进行人工呼吸,并请医生及时诊治。注意千万不要给触电者打强心剂,或拼命摇动触电者或强行扶触电者行走,这样会使触电者的情况恶化。

1.2.2 触电预防

触电事故的发生,大多数是由于不重视安全用电、违反操作规程而引起的。因

此要预防触电,须做好以下工作:

1. 合理使用安全工具,遵守操作规程

安装检修电气设备时,应先切断电源,切勿带电操作。用验电笔检测设备或导线等带电与否,切不可用手触摸鉴定。操作电气设备时,应穿有绝缘良好的胶底鞋、塑料鞋。在配电屏等电气设备周围的地面上,应放上干燥木板或橡胶垫。

2. 正确使用和安装电气设备或器材

各种电气设备和器材都有其规定的适用范围,导线和保险丝都有一定的规格,必须合理选择和正确使用。照明线路的开关应装在火线上,不应装在地线上。

3. 定期检修电气设备,防止绝缘部分破损或受潮

对于正常情况下带电的导体,应保持其绝缘良好,定期检查。移动式电器如手提灯、手电钻以及家用电器,其电源线有破损老化时,要及时更换。电线接头处要用黑胶布等绝缘带包扎牢固。为防止电线受损,严禁把导线挂在铁钉上、在导线上挂东西或随意乱拉线,等等。

4. 电气设备安装保护装置

电气设备都应装设必要的保护装置,如熔断器、自动开关、漏电保护器等。当设备发生短路、漏电或人身触电时,能及时自动切断电源。带金属外壳的设备一定要进行接地保护或接零保护。

1.3 电气设备的保护接地和保护接零

1.3.1 保护接地

将电气设备的金属外壳或机架与大地可靠连接,称为保护接地,如图 1.4 所示。保护接地宜用于三相电源中点不接地的供电系统中。

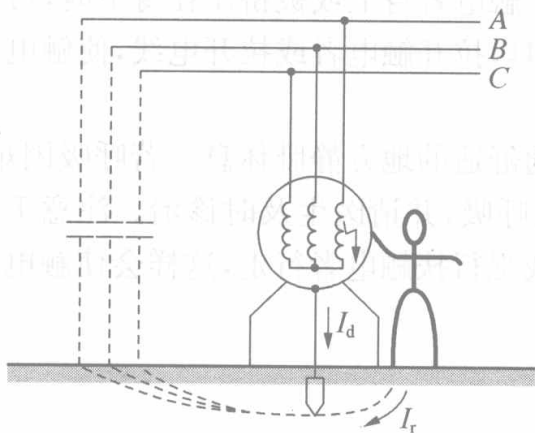


图 1.4 保护接地

在三相电源的中点不接地而电气设备又没有接地的情况下,当一相绝缘损坏碰壳时,如有人触及设备的外壳,就会发生如图 1.3 所示的触电情况。如果电气设备已有保护接地(接地电阻 R_d 一般不大于 $4\ \Omega$),这时设备外壳通过导线与大地有良好的接触,当人体触及带电的外壳时,人体电阻与接地电阻相并联,而人体电阻又远比接地电阻大得多,因此,大部分电流通过接地电阻入地,而流过人体的电流

极微小,从而避免了触电的危险。

1.3.2 保护接零

在低压三相四线制供电系统中,将中性点接地,这种接地方式称为工作接地。在该系统中应采用保护接零(接中线)。保护接零就是把电气设备的外壳或构架用导线和零线连接,如图1.5所示。若电气设备的绝缘损坏而使机壳带电,则一相电源经机壳和零线形成短路致使该相熔丝熔断,避免了触电事故。

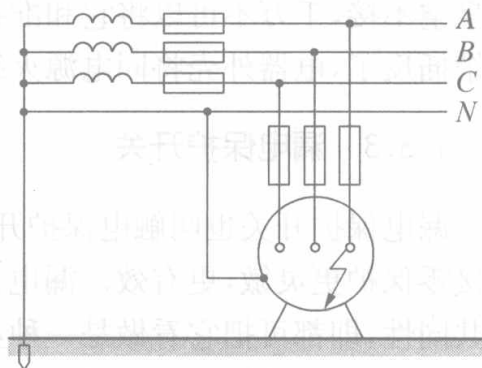


图 1.5 保护接零

应当说明,在三相四线制中点接地系统中,必须采用保护接零,不能采用保护接地。这是因为如果将设备的金属外壳或构架等接地,而不是直接与中性点相连,如图1.6所示,一旦发生相线碰壳时,若电源相电压为220 V, R_d 和 R_0 分别等于 $4\ \Omega$, 一般情况此电流小于熔断器熔断电流,则熔断器不断。此时,220 V 相电压分别降在 R_0 和 R_d 两个电阻上,零线和外壳上的对地电压将会升高到相电压的一

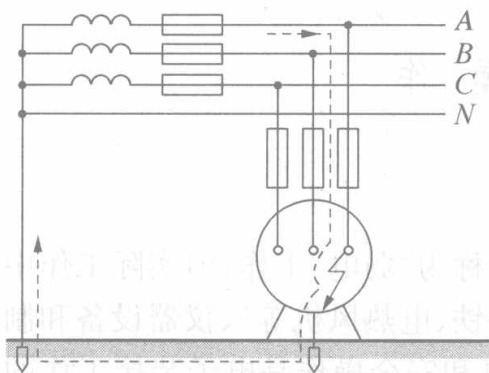


图 1.6 中性点接地系统中错用保护接地

半。这样,不仅人体触及设备外壳是危险的,而且触及零线也是危险的。同时,还使得接在这个电网上的所有接零保护的设备外壳都带上较高的电压,从而造成更多的触电危险。因此,在三相四线制中点接地系统中,只能采用保护接零措施,不允许采用保护接地措施或两种措施混用。为了防止零线由于偶然事故出现断路,在电网的零线上每隔一定的距离要进行重复接地。

目前,家用电器的供电都是采用三相四线制中点接地系统,所以家用电器应采用保护接零,而不是保护接地,如图1.7所示。应当注意的是不能将家用电器的外壳接在入户零支线上,而应接在零干线上。这是因为若错误地将电器外壳接在入户零支线上,一旦该零支线断开(如零支线保险丝断;插销头与插座接触不良,只是相线接通而零线没接通),而相线碰壳时将会造成外壳带电。家用电器一般使用三脚插头和三孔插座,正确的接线应将电器设备的外壳用导线接在粗脚接线端上,通过插座与中线相

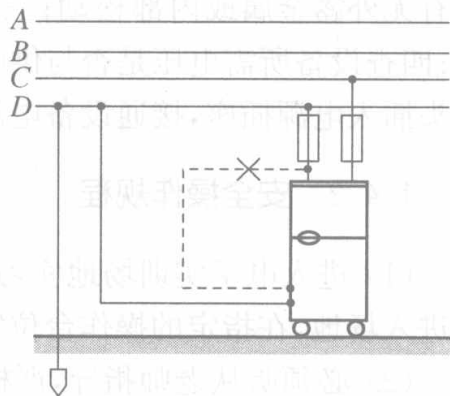


图 1.7 保护接零干线

连。必须指出的是,若住房中只有两孔电源插座,那就应将与电器外壳相连的插销片悬空不接,千万不可以将它和准备接电源零线的插销片连接起来使用,否则万一插销插反了,电器外壳将同电源火线相连,使外壳带电,这是十分危险的。

1.3.3 漏电保护开关

漏电保护开关也叫触电保护开关,是一种切断型保护安全技术,它比接地保护或接零保护更灵敏,更有效。漏电保护开关有电压型和电流型两种。其工作原理有共同性,即都可把它看做是一种灵敏继电器。对电压型而言,检测用电器对地电压;对电流型则检测漏电流,超过安全值即动作切断电源。由于电压型漏电保护开关安装较复杂,目前发展较快、使用广泛的是电流型保护开关,它不仅能防止人触电而且能防止漏电造成火灾,既可用于中性点接地系统也可用于中性点不接地系统,既可单独使用也可与接地保护、接零保护共同使用,而且安装方便,值得大力推广。按国家标准规定,电流型漏电保护开关电流时间乘积为 $\leq 30 \text{ mAs}$,实际产品额定动作电流一般为 30 mA ,动作时间为 0.1 s 。如果是在潮湿等恶劣环境,可选取动作电流更小的规格。

1.4 安全操作

1.4.1 安全操作知识

尽管在电子工艺实习中,电子装接工作通常称为“弱电”工作,但实际工作中免不了接触“强电”。一般常用电动工具(例如电烙铁、电热风机等)、仪器设备和制作装置大部分需要接市电才能工作,因此安全用电和安全操作是电子装接工作的首要条件。在实习过程中,严格遵守实验室制度和安全操作规程,对所用设备不要冒失的拿起插头就往电源上插,要记住“四查而后插”:一查电源线有无破损;二查插头有无外露金属或内部松动;三查电源线插头两极有无短路,与设备外壳有无短路;四查设备所需电压是否与供电电压相符。只有真正做到了四查后,才能将电源插头插入电源插座,接通设备电源开始工作。

1.4.2 安全操作规程

(1) 进入电子实训场地实习时,要讲文明,不准穿拖鞋、背心,衣冠要整洁,按序进入场地,在指定的操作台位实习。

(2) 必须听从老师指导,严格遵守实训室制度。不要在工作间打闹,不准违章操作,未经老师允许不准启动任何非自用设备、仪器、工具等,操作项目和内容必须

按实习要求进行。

(3) 不得用湿手接触开关、插座、灯头、刀闸等电器设备,更不要用湿布去擦拭和用水冲洗电气设备。

(4) 在使用电烙铁等发热电器时,必须配备支架,防止烫坏设备及发生火灾。烙铁头在没有确信脱离电源时,不能用手摸;烙铁头上多余的锡不要乱甩,特别是往身后甩危险很大。

(5) 实习中保持操作台整洁,要保持安静,不得大声喧哗,集中思想,有问题要向指导老师举手示意。

(6) 实习场地内非自己操作的设备,未经许可不得使用。不得随意开启场地内的电器开关,以免发生事故。实习时如遇设备故障,应立即报告指导老师。

(7) 用剪线钳剪断短小导线(例如:印刷板元件焊好后,去掉过长的引线)时,要让导线甩出方向朝着工作台或空地,决不可指向人或设备。

(8) 用螺丝刀拧紧螺钉时,另一只手不要握在螺丝刀刀口方向;插拔电烙铁等电器的电源插头时,要手拿插头,不要抓电源线插拔。

(9) 实习完毕要整理设备,打扫场地卫生,归还使用工具,工具丢失或无故损坏,按原价赔偿。由于违反操作规程或不听从老师指导造成国家财产损失的要酌情赔偿。

第2章 常用电子元器件

常用电子元器件一般指电阻器、电容器、电感器、开关及接插件、晶体二极管、晶体三极管、可控硅、集成电路等。我们将学习这些元器件的用途、主要性能参数、规格型号以及检查这些元器件质量好坏的基本知识。

2.1 电阻器和电位器

电荷在物体里运动会受到一定的阻力,这种阻力叫电阻,具有一定阻值的元件叫做电阻器。它是电子产品中必不可少、用得最多的电子元器件之一。在电路中的主要作用是控制电压、电流的大小,还可以与其他元件配合,组成耦合、滤波、反馈、补偿等各种不同功能的电路。所以,我们有必要对电阻器主要参数、标志方法等基本知识有初步的了解。

2.1.1 电阻器的主要性能参数

1. 标称值和允许误差

国家规定出一系列的阻值作为产品的标准,这就是电阻器的标称阻值。电阻的实际阻值不可能做到与它的标称值完全一样,两者间总是存在一定的偏差。最大的允许误差除以该电阻的标称值所得的百分数就叫电阻的误差。对于误差,国家也规定出一个系列。普通电阻的误差可分为 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 20\%$ 三种,在标志上分别以Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ误差等级表示。在电路图中电阻器旁边所标的阻值就是标称阻值。使用者在设计电路时计算得出的电阻器阻值不是标称值时,可选择和它相接近的标称电阻值。

2. 额定功率

当电流通过电阻时,要消耗一定的功率,这部分功率变成热量使电阻温度升高,为保证电阻正常使用而不被烧坏,它所承受的功率不能超过规定的限度,这个最大的限度就称为电阻的额定功率。一般可分为 $\frac{1}{8}\text{W}$ 、 $\frac{1}{4}\text{W}$ 、 $\frac{1}{2}\text{W}$ 、 1W 、 2W 、 5W 、

10 W……额定功率大的电阻器体积就大,在一般半导体收音机等电流较小的电路中,电阻的额定功率一般只需 $\frac{1}{4}$ W 或 $\frac{1}{8}$ W 就可以了。

电阻器简称电阻,阻值所用单位是欧姆,用希腊文“ Ω ”表示,实践中通常还用更大的一些的单位如 $k\Omega$ 和 $M\Omega$ 等。它们之间的换算关系为: $1 k\Omega = 1\,000 \Omega$, $1 M\Omega = 1000 k\Omega$ 。

2.1.2 电阻器的标注方法

国家有关部门规定了固定电阻器的三种标注方法:直标法、文字符号法和色标法。

1. 直标法

在电阻器表面用数字、单位符号和百分数直接标出电阻器的阻值和允许误差。优点是直观,一目了然,表示方法见图 2.1。



图 2.1 电阻直标法

2. 文字符号法

用数字和单位符号两者按照一定的规律组合起来表示阻值,允许误差也用文字符号表示。具体规定是:单位符号 Ω (或 $k\Omega$ 、 $M\Omega$)前面的数字表示整数阻值,单位符号 Ω (或 $k\Omega$ 、 $M\Omega$)后面的数字表示第一位小数阻值,如 5K1 表示 $5.1 k\Omega$, $5\Omega 1$ 表示 5.1Ω , $4M7$ 表示 $4.7 M\Omega$ 。电阻的误差分别用六个字母表示:

字 母	D	F	G	J	K	M
误差 $\pm \%$	0.5	1	2	5	10	20

3. 色标法

用颜色表示电阻器的阻值和允许误差,不同颜色代表不同数值。普通精度的电阻用四条色带表示阻值及偏差,其中两条表示阻值,一条表示有效数字后面“0”的个数,一条表示偏差,如图 2.2 所示。

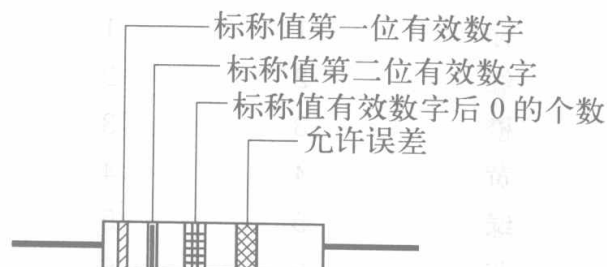


图 2.2 四色环表示法