



中等职业学校电子信息类教材 实用电子技术专业

电工原理

(第3版)

苏永昌 主编
沈大林 主审



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

中等职业学校电子信息类教材(实用电子技术专业)

电工原理

(第3版)

苏永昌 主编

沈大林 主审

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书根据中等职业学校实用电子技术专业教学大纲,在1998年版同名教材基础上,听取部分职校师生意见重新编写。全书共分6章:电路的基本知识;直流电路;电磁基本定律;电容器与电感器;正弦交流电路;三相交流电路。本书每节后有练习与作业,每章后有要点及复习题,并配有有一定数量的学生实验。重新编写后的本书重点突出,注重基础知识和基本概念的讲述与练习,并照顾到教学实际和学生考工的需要,力争使之符合职业学校的教学特点。

本书可作为中职、中专学校实用电子技术专业教材,也可作为从事电子技术工作人员的自学参考用书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

电工原理/苏永昌主编. —3版. —北京:电子工业出版社,2003.1
中等职业学校电子信息类教材(实用电子技术专业)
ISBN 7-5053-8211-X

I. 电… II. 苏… III. 电工—理论—专业学校—教材 IV. TM1

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第000970号

责任编辑:刘文杰

印 刷:北京东光印刷厂

出版发行:电子工业出版社 <http://www.phei.com.cn>

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编100036

经 销:各地新华书店

开 本:787×1092 1/16 印张:12.25 字数:315千字

版 次:2003年1月第3版 2003年1月第1次印刷

印 数:10100册 定价:15.50元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。
联系电话:(010)68279077

前 言

本书为中等职业学校电子信息类实用电子技术专业教材,是在 1998 年版同名教材基础上,听取有关部门及部分职校师生意见后重新编写的。

本书侧重知识要点,注重理论与专业实践相结合,在保留原教材总体结构的前提下,精简了理论推导和非电子技术专业所涉及的相关内容。为了便于阶段练习,每章后均附有复习题。本书力求简明实用,减少了定量分析,加强了定性说明。

本书共分 6 章。第 1,2 章由谢维老师编写,第 3,4 章由王德森老师编写,第 5,6 章由苏永昌老师编写。全书由苏永昌老师统稿。本书的编写得到了刘志平同志的大力支持,范国祥、王玉兰同志为本书提出了许多宝贵建议,在此表示诚挚的感谢。

由于编者水平有限,书中一定存在许多缺点和错误,殷切希望广大师生予以批评指正。

编 者

2002 年 10 月

目 录

第 1 章 电路的基本知识	(1)
1.1 电荷与电场	(1)
1.1.1 电荷	(1)
1.1.2 电场	(2)
1.1.3 静电屏蔽	(3)
练习与作业	(4)
1.2 电流与电路	(5)
1.2.1 电流	(5)
1.2.2 电路	(7)
练习与作业	(9)
1.3 电动势、电压与电位	(9)
1.3.1 电动势	(9)
1.3.2 电压	(10)
1.3.3 电位	(11)
练习与作业	(11)
1.4 电阻与欧姆定律	(12)
1.4.1 电阻	(12)
1.4.2 电阻定律	(12)
1.4.3 欧姆定律	(12)
1.4.4 全电路欧姆定律	(13)
练习与作业	(14)
1.5 电功与电功率	(14)
1.5.1 电功	(14)
1.5.2 电功率	(15)
1.5.3 电流的热效应	(15)
练习与作业	(16)
实验 1 欧姆定律的验证与电源外特性的测量	(16)
实验 2 电压与电位的测量	(18)
本章要点	(19)
复习题	(20)
第 2 章 直流电路	(23)
2.1 电阻串联电路	(23)
2.1.1 电阻串联电路的特点	(23)
2.1.2 实例分析	(24)

练习与作业	(25)
2.2 电阻并联电路	(25)
2.2.1 电阻并联电路的特点	(25)
2.2.2 实例分析	(26)
练习与作业	(27)
2.3 电阻混联电路	(28)
2.3.1 电阻混联电路的图形整理	(28)
2.3.2 电阻混联电路的计算	(29)
练习与作业	(31)
2.4 电池的连接	(32)
2.4.1 电池的串联	(32)
2.4.2 电池的并联	(33)
2.4.3 电池的混联	(34)
练习与作业	(34)
2.5 电路中电位的计算	(35)
2.5.1 多电源无分支串联电路	(35)
2.5.2 电路中各点电位的计算方法	(37)
2.5.3 电路中各点电位的计算实例	(37)
练习与作业	(40)
2.6 基尔霍夫定律	(41)
2.6.1 基尔霍夫第一定律——节点电流定律	(41)
2.6.2 基尔霍夫第二定律——回路电压定律	(43)
练习与作业	(44)
2.7 叠加原理与戴维南定理	(45)
2.7.1 电压源与电流源	(45)
2.7.2 叠加原理	(46)
2.7.3 戴维南定理	(48)
练习与作业	(49)
2.8 电源最大输出功率定理与电桥电路	(49)
2.8.1 电源最大输出功率定理	(49)
2.8.2 电桥电路	(52)
练习与作业	(53)
2.9 三角形与星形电路的等效变换	(53)
2.9.1 星形电路与三角形电路	(53)
2.9.2 星形电路与三角形电路的等效变换	(54)
练习与作业	(56)
2.10 万用表基本电路	(56)
2.10.1 万用表表头特性	(56)
2.10.2 万用表基本电路分析	(56)
练习与作业	(58)

实验 3 多电源无分支串联电路电流与电位的测量	(59)
实验 4 基尔霍夫定律验证实验	(60)
实验 5 戴维南定理验证实验	(61)
实验 6 叠加原理验证实验	(62)
实验 7 直流电桥测量电阻的实验	(63)
本章要点	(64)
复习题	(66)
第 3 章 电磁基本定律	(69)
3.1 磁感应强度和磁通	(69)
3.1.1 磁现象的基本知识	(69)
3.1.2 磁感应强度	(70)
3.1.3 磁通	(71)
练习与作业	(71)
3.2 螺线管	(72)
3.2.1 通电螺线管和螺线环的磁场	(72)
3.2.2 磁动势、磁场强度	(72)
3.2.3 相对磁导率	(73)
练习与作业	(74)
3.3 铁磁物质的磁化和磁滞回线	(74)
3.3.1 铁磁物质的磁化	(74)
3.3.2 磁滞回线	(75)
3.3.3 铁磁材料的分类	(76)
练习与作业	(76)
3.4 磁路的欧姆定律	(77)
3.4.1 磁路的概念	(77)
3.4.2 磁路的欧姆定律	(77)
3.4.3 磁路与电路的比较	(78)
练习与作业	(78)
3.5 磁场对电流的作用	(79)
3.5.1 磁场对通电直导体的作用力	(79)
3.5.2 磁场对通电线圈的力矩	(79)
3.5.3 磁场对运动电荷的力——洛仑兹力	(80)
3.5.4 电磁力应用举例	(81)
练习与作业	(82)
3.6 电磁感应	(83)
3.6.1 直导体中的感应电动势	(83)
3.6.2 线圈回路中的感应电动势	(84)
3.6.3 电磁感应应用举例	(86)
练习与作业	(88)
实验 8 电磁感应现象的研究	(89)

本章要点	(90)
复习题	(91)
第4章 电容器与电感器	(94)
4.1 电容器和电容量	(94)
4.1.1 电容器	(94)
4.1.2 电容器的电容	(94)
4.1.3 平行板电容器	(95)
4.1.4 电容器的额定工作电压	(96)
练习与作业	(96)
4.2 电容器的充电和放电	(96)
4.2.1 电容器的充电、放电现象	(96)
4.2.2 电容器的充、放电电流	(97)
练习与作业	(97)
4.3 电容器的连接	(98)
4.3.1 电容器的串联	(98)
4.3.2 电容器的并联	(99)
4.3.3 电容器的混联	(100)
练习与作业	(100)
4.4 电感器与自感应	(101)
4.4.1 电感器的电感量	(101)
4.4.2 电感量的计算	(101)
4.4.3 自感应和自感电动势	(102)
练习与作业	(103)
4.5 互感应	(104)
4.5.1 互感现象	(104)
4.5.2 互感电动势和互感系数	(104)
4.5.3 互感线圈的同名端	(105)
4.5.4 互感线圈的连接	(105)
练习与作业	(106)
4.6 变压器	(107)
4.6.1 变压器的构造	(107)
4.6.2 变压器的工作原理	(108)
4.6.3 变压器的阻抗变换作用	(108)
练习与作业	(109)
4.7 电场能与磁场能	(110)
4.7.1 电容器中储存电场能	(110)
4.7.2 电容器中储存磁场能	(110)
4.7.3 电场能与磁场能的相互转换	(111)
练习与作业	(112)
4.8 电路的过渡过程和换路定律	(112)

4.8.1	过渡过程的概念	(112)
4.8.2	换路定律及其应用	(112)
	练习与作业	(113)
4.9	RC 电路的过渡过程	(114)
4.9.1	RC 电路接通直流电源	(114)
4.9.2	电容器通过电阻放电	(115)
	练习与作业	(116)
4.10	RL 电路的过渡过程	(117)
4.10.1	RL 电路接通直流电源	(117)
4.10.2	RL 电路的“放电”	(118)
	练习与作业	(119)
	实验9 RC 电路的充、放电过程	(120)
	本章要点	(121)
	复习题	(122)
第5章	正弦交流电路	(124)
5.1	正弦交流电路的基本概念	(124)
5.1.1	正弦交流电的瞬时值	(124)
5.1.2	正弦交流电的三要素	(124)
5.1.3	相位与相位差	(126)
5.1.4	正弦交流电的有效值	(126)
	练习与作业	(127)
5.2	正弦量的矢量表示法	(128)
5.2.1	正弦量的矢量表示法	(128)
5.2.2	矢量运算法则	(129)
	练习与作业	(131)
5.3	基本正弦交流电路	(131)
5.3.1	纯电阻正弦交流电路	(132)
5.3.2	纯电感正弦交流电路	(133)
5.3.3	纯电容正弦交流电路	(135)
	练习与作业	(137)
5.4	RLC 串联电路	(138)
5.4.1	RL 串联电路	(138)
5.4.2	RC 串联电路	(140)
5.4.3	RLC 串联电路	(143)
	练习与作业	(146)
5.5	RLC 并联电路	(147)
	练习与作业	(149)
5.6	正弦交流电路的功率	(150)
5.6.1	瞬时功率	(150)
5.6.2	平均功率(有功功率)	(151)

5.6.3 无功功率	(152)
练习与作业	(152)
5.7 功率因数	(152)
5.7.1 视在功率	(153)
5.7.2 功率因数	(154)
5.7.3 提高功率因数 $\cos\varphi$ 的方法	(154)
练习与作业	(155)
5.8 谐振	(156)
5.8.1 串联谐振电路	(156)
5.8.2 并联谐振电路	(158)
练习与作业	(160)
实验 10 纯电阻、纯电感、纯电容电路的电流与电压的相位关系	(161)
实验 11 RLC 串联谐振	(162)
本章要点	(164)
复习题	(166)
第 6 章 三相交流电路	(168)
6.1 三相交流电源	(168)
6.1.1 三相交流对称电动势	(168)
6.1.2 三相交流电动势的相序	(168)
6.1.3 三相交流电源的连接	(169)
6.1.4 相电压和线电压	(170)
练习与作业	(171)
6.2 三相交流负载	(171)
6.2.1 三相负载的星形(Y形)连接	(171)
6.2.2 三相负载的三角形(Δ 形)连接	(174)
练习与作业	(175)
6.3 三相交流电路的功率	(176)
6.3.1 三相交流电路的功率	(176)
6.3.2 负载对称的三相电路的功率	(176)
练习与作业	(178)
本章要点	(178)
复习题	(179)
部分习题答案	(181)

第 1 章 电路的基本知识

1.1 电荷与电场

1.1.1 电荷

自然界中的一切物质都是由许多分子组成的,各种分子又由原子组成,而原子又由原子核和电子组成。原子核带正电,它在原子的中心;电子带负电,分别在若干层不同的轨道上围绕着原子核不停地运动。在通常的情况下,原子核带的正电与核外电子总共带的负电数量是相等的,整个原子呈中性。不同的原子所具有的电子数目不同。例如,氢原子只有一个电子,铝原子有 13 个电子。氢原子与铝原子的结构如图 1.1 所示。

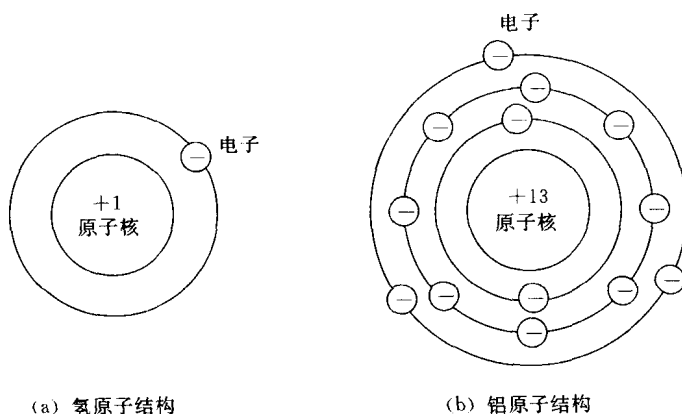


图 1.1 原子的结构

由于摩擦等原因,会使某物体上的部分电子移到另一个物体上。这样,前一个物体因丢失了一部分电子而带正电荷,后一个物体因得到电子而带负电荷。例如:用毛皮摩擦橡胶棒,会使毛皮上的一部分电子移到橡胶棒上,使橡胶棒带负电荷,而毛皮带正电荷;用绸子摩擦玻璃棒,会使玻璃棒上的一部分电子移到绸子上,使玻璃棒带正电荷,而绸子带负电荷。通过物体的相互摩擦使物体带电,叫摩擦起电。摩擦起电并不是创造了电,只是将电子从一个物体移到另一个物体。

原子中的电子带负电,原子核中的带电粒子叫质子,它带正电,电子与质子的带电量相等。如果一个物体所含的电子总数与质子总数相同,则它呈中性,我们说它不带电荷;如果一个物体所含的电子总数大于质子总数,则它呈负性,我们说它带负电荷;如果一个物体所含的电子总数小于质子总数,则它呈正性,我们说它带正电荷。

电荷是一种客观存在的物质,它不会凭空地产生或消失,只能从一个物体移到另一个物体上,这叫电荷守恒定律。物体得到或失去的电子个数越多,它所带的电荷数量也越大。通常把物体所带电荷数量的多少叫做电量,用 Q 表示,其单位为库仑(C)。1 库仑的电量是 6.25×10^{18} 个电子所带的电量,因此,一个电子的电量为: $e = -1.60 \times 10^{-19} \text{C}$ 。

1.1.2 电场

1. 什么是电场

人们在研究摩擦起电现象时发现：用毛皮摩擦过的两个橡胶棒之间相互排斥，用绸子摩擦过的两个玻璃棒之间也相互排斥，如图 1.2(a)所示；而用绸子摩擦过的玻璃棒与用毛皮摩擦过的橡胶棒之间相吸引，如图 1.2(b)所示。这说明在电荷之间存在着相互的作用力，同性电荷相斥，异性电荷相吸。

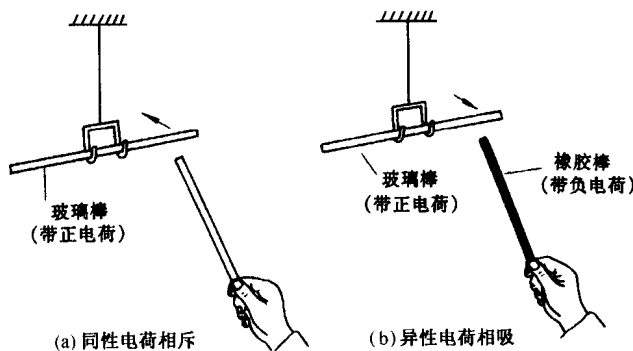


图 1.2 电荷间的作用力

力是物体间的相互作用，这种相互作用是通过物体的直接接触或通过别的物质做媒介而产生的。例如：人拉车有两种方式，一种是人手与车直接接触，另一种是人通过别的物质（如绳子）做媒介来拉车。两个带电体并没有接触，但相互之间存在着作用力，这说明它们之间存在着一种特殊（看不见，摸不到）的物质。这种存在于电荷周围空间对电荷有作用力的特殊物质叫电场。电荷周围存在电场，电荷就是通过电场为媒介，形成对其他电荷的作用力。通常把静止的电荷产生的电场称为静电场。

2. 电场的特性

电场具有两个特性：一个是力的特性，电场对处于电场中的电荷都有作用力，这个力叫电场力（也称静电力）；另一个是能量特性，电场力使电场中的带电体移动时，电场力做了功，说明电场具有能量，这个能量叫电场能。

电场可用物理量电场强度（用 E 表示）来描述。电场强度是一个矢量，即有大小和方向的量。其大小等于单位正电荷在电场中某一点所受力的的大小，单位正电荷受到的电场力越大，该点的电场强度也越大；单位正电荷受到的电场力越小，该点的电场强度也越小。实验证明：离产生电场的带电体越近，电场强度就越大；离带电体越远，电场强度就越小；带电体所带电量越多，它周围的电场强度也越大。电场中某点电场强度的方向规定为正电荷在该点所受电场力的方向。

3. 电力线

电场是看不见、摸不到的特殊物质，为了形象地描述它，可采用电力线来描述。电力线上每一点的切线方向表示该点的电场强度方向，电力线越密的地方表示此处的电场强度越大。图 1.3 给出了一些带电体周围的电力线图形，分析这些电力线图形，可以得到电力线具有以下

特性。

- (1) 静电场中的电力线起始于正电荷而终止于负电荷。
- (2) 任何两条电力线不会相交。
- (3) 电力线越密集处, 电场强度越大; 反之, 电场强度越小。

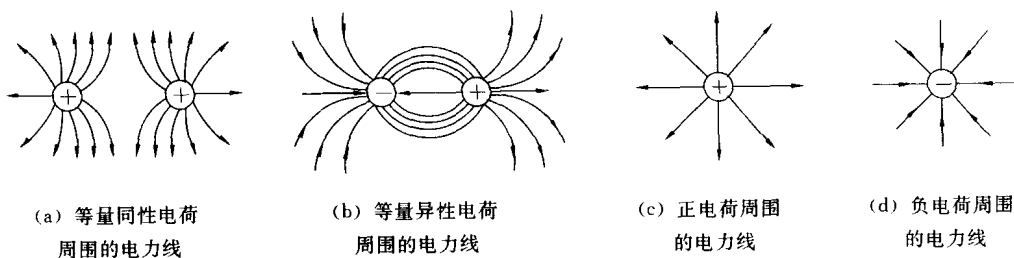


图 1.3 电力线

4. 匀强电场

如果电场中各点的电场强度的大小及方向均相同, 则这个电场叫匀强电场。匀强电场中的电力线是一组方向相同、分布均匀的平行直线。例如, 两个带异性电荷的平行极板间的电场就是匀强电场, 如图 1.4 所示。

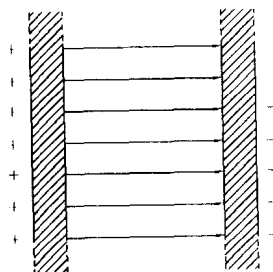


图 1.4 两块带异性电荷的平行极板间的匀强电场

1.1.3 静电屏蔽

1. 静电感应与静电平衡

能够传导电荷的物体叫导体, 各种金属物体都是导体。在金属导体中, 原子最外层轨道上的电子受到原子核的吸引力最小, 很容易脱离原子核的束缚, 形成可以在金属物体中自由移动的电子, 这种电子叫自由电子。当金属物体置于电场中时, 自由电子会在电场力的作用下移动, 形成电荷的重新分配, 这种现象叫静电感应。

把不带电的金属 ABCD 放入匀强电场中, 金属中的自由电子在电场力的作用下会向 AB 边移动, 如图 1.5(a) 所示。AB 边因得到多余的电子而带负电荷, CD 边因失去电子而带等量的正电荷, 如图 1.5(b) 表示, 其结果是在金属内形成一个附加电场, 该电场与外加电场的方向相反、大小相等。这时, 金属内部的合成电场为零, 金属内不再有电荷移动, 使金属导体处于静电平衡状态, 如图 1.5(c) 所示。可以看出, 外电场的电力线垂直并终止于金属外表面, 不能穿透到金属内部。

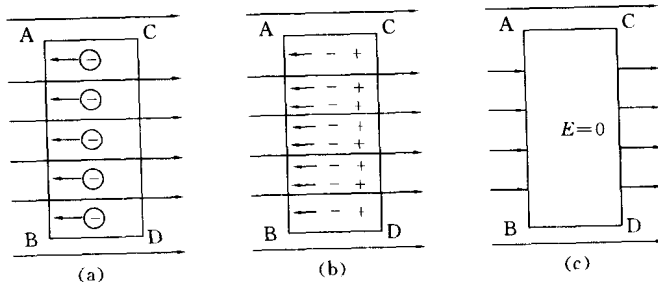


图 1.5 静电感应与静电平衡

2. 静电屏蔽

利用导体静电平衡时内部电场强度为零这一特性,可以实现静电屏蔽,即使空腔导体内不受外电场影响,空腔导体内的电场也无法影响导体外的空间。

将一个空腔导体放入静电场中,电力线将垂直并终止于导体外表面而不能穿过导体进入空腔内,使空腔导体内的电场强度为零,不受外界电场的影响,如图 1.6(a)所示,形成对外屏蔽。

如果在空腔导体内放入一个带正电荷的物体,则由于静电感应,使空腔导体内壁感应出负电荷,空腔导体外壁感应出正电荷。如果空腔导体外壁接地,则外壁正电荷消失,对外的电力线也消失,如图 1.6(b)所示,从而使空腔导体内的电场对空腔导体外部空间无影响,形成对内屏蔽。

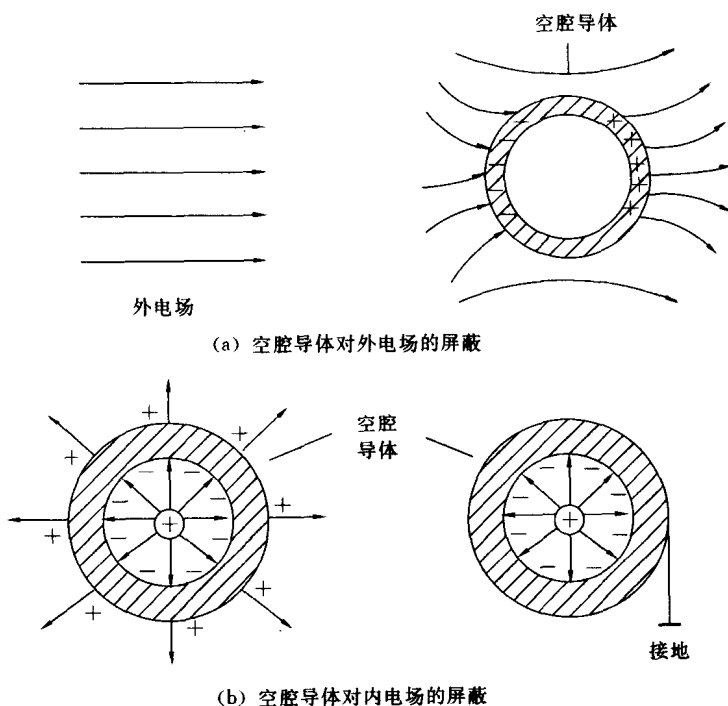


图 1.6 静电屏蔽

静电屏蔽应用面很广。在电子技术应用中,将晶体三极管管芯用金属外壳罩起来,可避免外界电场的影响;将线圈用金属壳罩起来并接地,可消除线圈产生的电场对外部的影响。此外,仪器的探头、信号的传输线等采用金属屏蔽,也是为了消除内、外电场的影响。

练习与作业

- 1-1-1 参看图 1.7,用带电的玻璃棒或橡胶棒接触验电器的金属球时,为什么金属箔会张开一定的角度?实验中,金属箔张开的角度会不同,这说明什么问题?
- 1-1-2 手握金属棒,与毛皮或丝绸摩擦后,金属棒会带电吗?为什么?
- 1-1-3 在图 1.8 中标出电荷受到的电场力的方向。
- 1-1-4 为什么说“任何两条电力线不会相交”?

1-1-5 说明图 1.8 各图中哪点电场强度最大?哪点电场强度最小?

1-1-6 “一个电子在电场中某点所受的电场力大小与该点电场强度的大小一样,而所受电场力的方向与该点电场强度的方向正好相反”。这句话正确吗?为什么?

1-1-7 如果空腔导体内的带电物体带负电荷,请画图分析它的静电屏蔽作用。

1-1-8 列举日常生活中应用静电屏蔽的实例。

1-1-9 用玻璃瓶等物体自制一个验电器,并用它做一些你能设计的静电实验,并写出简要的实验报告,包括实验目的、实验器具、实验过程和实验结果分析等。

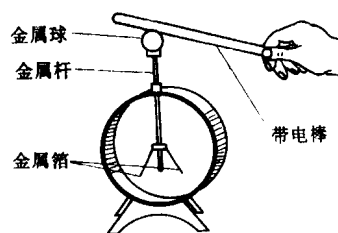


图 1.7 验电器结构与验电实验

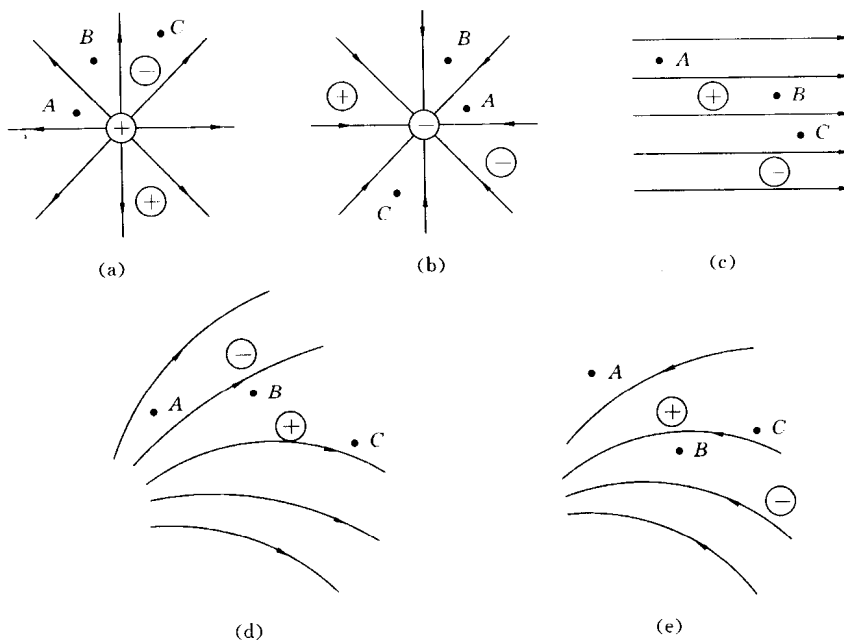


图 1.8 电荷在电场中的受力分析

1-1-10 解释下列名词:

电荷、摩擦起电、电量、电场、匀强电场、静电场、电力线、电荷守恒、库仑、电能、电场力、电场强度、导体、静电感应、静电平衡、静电屏蔽。

1.2 电流与电路

1.2.1 电流

1. 什么是电流

电荷有规则的移动就形成了电流。在没有电场作用时,金属导体中的自由电子只存在无规则的运动,任一段时间内通过导体任一横截面的电量,平均起来总等于零,故形不成电流。如果将导体接在具有异性电荷的两个带电体之间,如图 1.9(a)所示,则在导体内部就有了电场,在电场力的作用下,导体中的自由电子就会逆着电场的方向做有规则的移动,因而形成了电流。但需要说明的是:不是只有在金属导体中才能形成电流,也不是只有电场的作用才能形成电流。例如,阴极射线管、显像管等,其内部电子的定向移动也形成电流;在电池和发电机内部,非

电场力使电子有规则地移动也能形成电流。

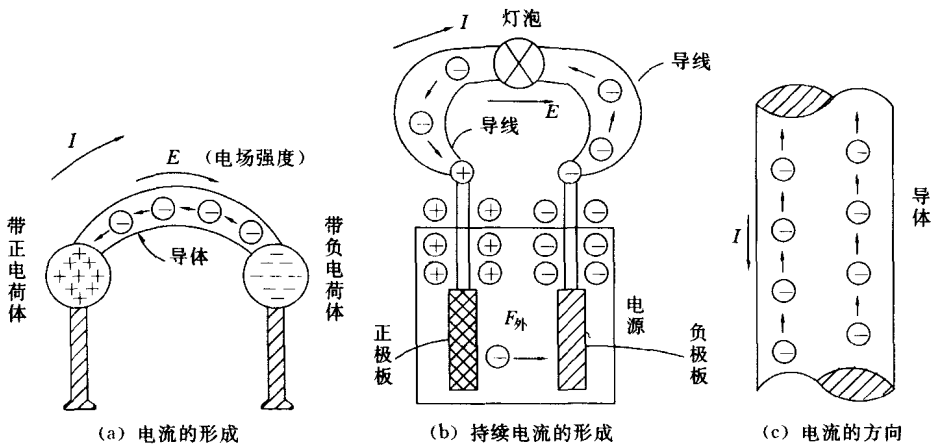


图 1.9 电流的形成和电流的方向

按图 1.9(a)所示能形成电流,但电荷的移动会使正、负电荷很快中和,则带电体不再带电,电场也随之消失,无法再形成电流。为了能使金属导体中产生持续的电流,需将导体接至电源的正、负极板之间。电源的正极板带大量的正电荷,负极板带大量的负电荷,它们形成电场,使导体中的自由电子定向移动,形成电流。电源内部,非电场力 $F_{外}$ 使正极板中的电子移到负极板,保证了正极板中总带正电荷,负极板总带负电荷,从而使导体中的电场不会消失,电流持续不断,如图 1.9(b)所示。

尽管通常是电子的移动形成电流,但规定电流的方向是正电荷定向移动的方向,所以电流的方向与电子定向移动的方向相反,如图 1.9(c)所示。为了分析问题方便,以后再讲到电荷的移动,一般均指正电荷的移动。

2. 电流强度

电流的大小用电流强度来衡量。电流强度简称电流,用 I 表示,在数值上它等于单位时间内通过导体某横截面的电量。设在时间 t 内通过导体横截面的电量为 Q ,则电流强度 I 为

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1-1)$$

式中: Q 的单位为库仑(C), t 的单位为秒(s),电流强度的单位为安培(A),简称安。电流的单位还有千安(kA)、毫安(mA)、微安(μ A),它们的换算关系是

$$1\text{kA} = 1000\text{A} \quad 1\text{A} = 1000\text{mA} \quad 1\text{mA} = 1000\mu\text{A}$$

【例 1.1】 在 1 分钟内均匀流过导体某横截面的电量为 5.4C,则电流强度是多少安培?多少毫安?

$$\text{解: } I = \frac{Q}{t} = \frac{5.4}{60} = 0.09\text{A} = 90\text{mA}$$

【例 1.2】 560mA 是多少安培?多少微安?

$$\text{解: } 560\text{mA} = 0.56\text{A} = 560000\mu\text{A}$$

3. 电流的种类与电流的测量

如果电流的大小和方向恒定不变,即不随时间而改变,则这种电流叫直流电流或稳恒电

流,简称直流,如图 1.10(a)所示。如果电流的大小随时间变化,而方向不随时间变化,则这样的电流叫脉动电流,如图 1.10(b)所示。如果电流的大小与方向均随时间而变化,则这样的电流叫交流电流,简称交流,如图 1.10(c)所示。

通常,直流电流用直流电流表或万用表直流电流挡来测量,交流电流用交流电流表来测量。测量时,一定要将电流表串入被测的电路中。测量直流电流时,应保证直流电流从直流电流表“+”端流入,从“-”端流出,其正确接法如图 1.10(d)和(e)所示。

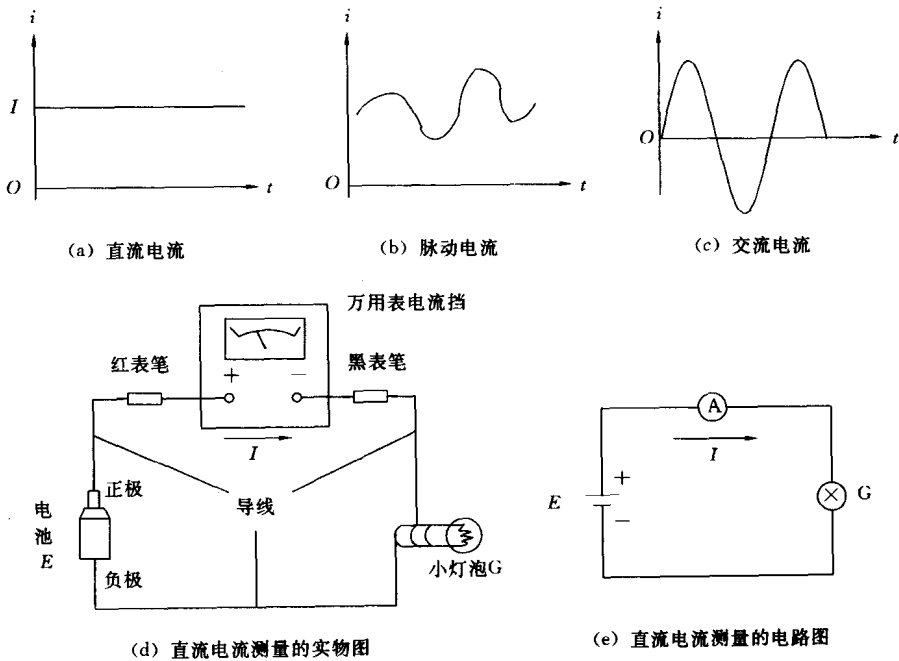


图 1.10 电流的种类与直流电流的测量

1.2.2 电路

1. 什么是电路

电路是电流流通的路径,它由电源、负载、导线和控制器等组成。

(1) 电源是将其他形式的能量转换为电能的设备,即产生电流的源泉,实现把其他形式的能量转换为电能的任务,给负载提供电能。例如,干电池、发电机、光电池等。

(2) 负载是将电能转换为其他形式能量的用电设备的总称。其作用是将电能转换为其他形式的能。例如,电灯、电炉、电动机等。

(3) 导线与控制器:导线用来输送及分配电能,如铜线;控制器是控制电路通断的设备,如开关、保险丝等。

各种电路都可以用电路符号画成电路图来表示,如图 1.10(d)和(e)所示,图 1.10(d)是实物图,图 1.10(e)是相应的电路图。图 1.11(a)是带开关的电路实物图,图 1.11(b)是相应的电路图。常用的电路图符号如图 1.12 所示。