



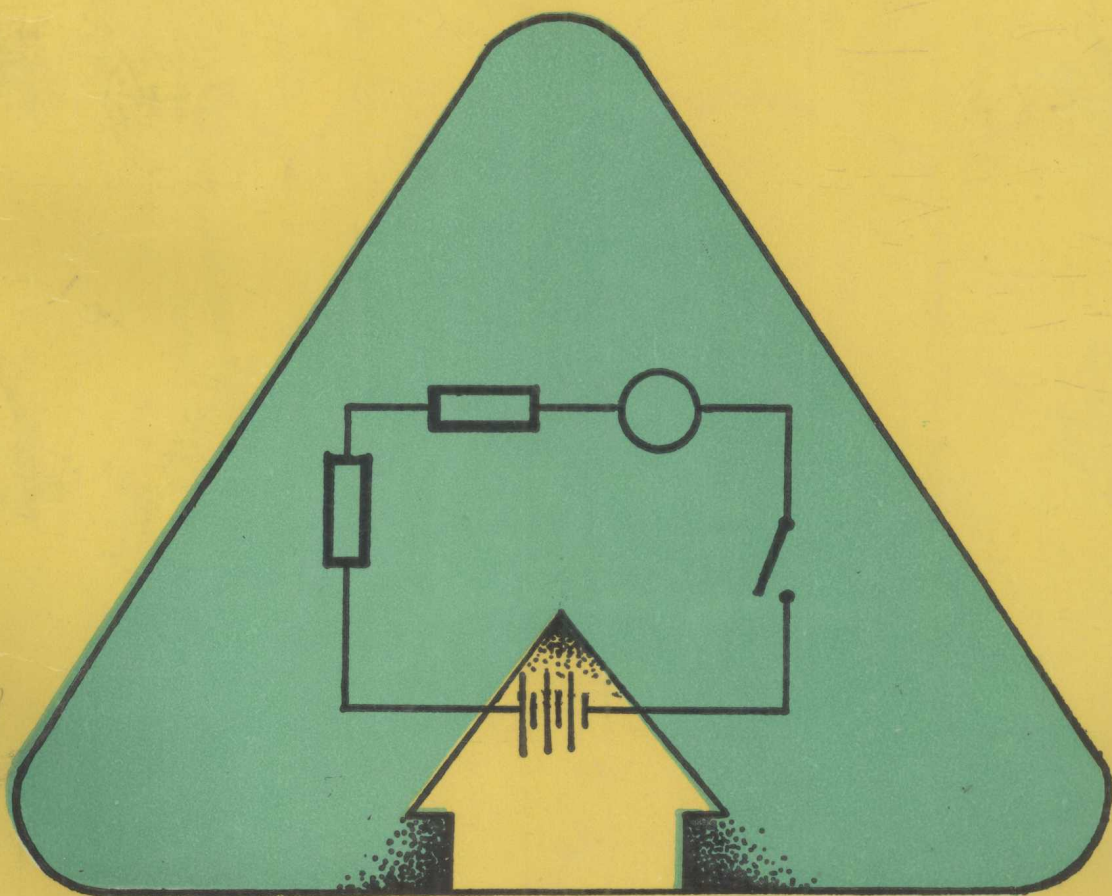
全国职业高中国家教委规划教材

电子电器专业

电工技术基础

全国职业高中电子电器专业教材编写组 编

刘志平 主编



高等教育出版社

全国职业高中国家教委规划教材

电子电器专业

电工技术基础

全国职业高中电子电器专业教材编写组 编

刘志平 主编

高等教育出版社

(京)112号

内 容 简 介

本书是国家教委组织编写的全国职业高中电子电器专业八·五规划系列教材之一。它是根据国家教委职教司 1992 年 9 月在重庆审定通过的《电工技术基础教学大纲》编写的。它和《电工技能与训练》是姊妹篇。

本书内容有直流电路基础知识、直流电路、电容器、磁与电磁、正弦交流电路、应用复数解正弦交流电路、三相交流电路和电动机、变压器、非正弦交流电路和过渡过程。本书将劳动部、机电部颁发的中级技术工人考核标准电工部分的应知内容，融汇于各章节之中。编者从职业高中的实际出发，突出基础知识，注重学生能力的培养。本书概念清楚、重点突出、语言通俗易懂，既注重实际应用，又具有较强的可读性。

本书可以作为全国职业高中电子电器专业的教材，也可作为机电专业、电工专业以及技工学校同类专业的教材，还可以作为军地两用人材培训和职工上岗培训教材。

本书是职业高中学生考取“双证”及职工考取中级技术工人等级证书的好教材。

全国职业高中国家教委规划教材

电子电器专业

电工技术基础

全国职业高中电子电器专业教材编写组 编

刘志平 主编

高等教育出版社出版

新华书店总店科技发行所发行

中国科学院印刷厂印装

开本 787×1092 1/16 印张 17.25 字数 430 000

1994 年 6 月第 1 版 1994 年 6 月第 1 次印刷

印数 0001—26 035

ISBN7-04-004800-0/TM·236

定价 6.60 元

前 言

1992年9月国家教育委员会职教司召开了由北京、四川、江苏、广东、辽宁、山东、河南、福建、浙江、湖南、湖北、内蒙、天津、重庆、武汉、广州、济南等省市教委选派出的专业教师、教研员参加的全国职业高中电子电器专业的部分课程教学大纲审定会。这次会议审定通过了全国职业高中电子电器专业教学计划与23门专业课程教学大纲,落实了该专业新一轮国家规划教材的编写工作,成立了“全国职业高中电子电器专业教学研究组”。

与会代表充分肯定了由国家教委职教司与高等教育出版社组织编写的上一轮职业高中电子电器专业教材,认为这一轮教材对提高全国职业高中电子电器专业教学质量,强化技能训练方面的教学改革起到了保证作用,受到了全国各地职高师生的好评,社会效益明显。

随着职业技术教育改革的深化,特别是国家教委教职017号文件“关于制定职业高级中学(三年制)教学计划的意见”的颁布,迫切需要制定新的职业高中电子电器专业的教学计划和按照新的教学计划对教材进行修订。为此,经过与会代表认真、细致的研讨,提出了职业高中电子电器专业的教学计划、教学大纲以及新一轮教材编写的改革构想与实施方案。其中,对职业高中电子电器专业新一轮教材编写工作,主要做了以下几方面的改革与完善:

一、将国家教委教职017号文件的原则与精神,具体落实到该专业教学计划的制定与教材编写工作当中。根据017号文件精神,职业高中电子电器专业的培养目标是掌握该专业所需要的文化基础知识、专业技术知识与实际操作技能的中级技术工人;政治课和文化课与专业课、实习的课时比例定为3:3:3.5左右,另安排了大约5%的专业选修课。

二、在教学大纲制定与教材编写中,要以劳动部、机电部、商业部1992年颁布的电子行业、家用电器维修专业的有关工种中级工人技术等级标准为依据。

三、电子电器专业是一个很大专业群的总称,它是职业高中面对人才市场需要,为适应毕业生不包分配这一特点而设置的,具有职业高中特色。该专业包括电子、电器两大分支。电子类产品是以电子技术为基础设计和生产出来的各种产品;电器类产品是以电动、电热、电磁原理为基础设计和生产出的各种产品。每个分支按实际工作需要,又可分成若干个门类、工种,例如以劳动部、机电部最新颁布的电子行业工人技术等级标准分类,电子电器专业含无线电装接工、调试工、成品检验工、家用电子产品维修工等;以商业部最新颁发的家用电器维修专业工人技术等级标准分类,电子电器专业包括家用视频设备维修、家用音频设备维修、家用制冷设备维修、家用电热器具与电动器具维修、复印设备维修和一般办公室设备维修等工种。面对上述情况,职业高中电子电器专业有关的教学计划与教材编写,采用了积木式教学法,将电子电器专业课分为两段教学。

第一段教学安排在一二年级的前半段,主要针对上述两种共有的专业知识要求与基本技能要求,开设了:电工技术基础、电工技能与训练、电子技术基础(含模拟与数字电路)、电子技术技能与训练、机械常识与钳工基本技能、微处理器在家用电器中的应用、计算机语言与应用。这段教学要体现职业高中的“宽口径”特点,保持相对稳定性。

第二段教学安排在二年级后半段至三年级前半段。根据人才市场的需要,这段教学又可分

别安排为若干个积木块。这次会议向全国推荐了三个较为成熟的积木块,它们是:音频与视频设备维修;电热、电动与制冷设备维修;电子产品生产工艺。这次会议制定了这三个积木块开设的课程、课时与教学要求(教学大纲)。其中,音频与视频设备维修类开设:音响设备原理、音响设备维修技术、电视机原理、电视机维修技术、录像机原理与维修技术;电热、电动与制冷设备维修类开设:制冷与空调设备原理、制冷与空调设备维修技术、电热与电动器具原理、电热与电动器具维修技术;电子产品生产工艺类开设:电子仪表与测量、电子产品生产工艺、整机原理与维修技术。(整机内容要根据就业方向而定,例如、分配方向为电视机生产线工人,即开设电视机原理与维修技术)。为适应专业间相互渗透的发展趋势,每个门类(积木块)还要开设选修课(大约200学时),即对另一门类(积木块)的专业技术课进行选修,例如,音频与视频设备维修类,可选修制冷与空调设备原理与维修技术。在这些积木块的教学大纲制定与教材编写中,注意贯彻了有关部委制定的中级工人技术等级标准。这段教学具有“对口就业”倾向,安排上体现了一定的灵活性。

实践证明,职业高中的专业技术培训不能只对准单一工种,而要对准某一子类或主类进行,并且要随着市场产品的变化进行调整。“积木块”式的课程设置方法,对职业高中进入市场经济,是一种行之有效的教学手段。

四、上一轮教材采用了双轨制,即为保证技能训练的内容与实施,将理论与技能训练分别设课和编教材,同步教学。几年的实践证明,“双轨制”教学是保证和突出技能训练的重要措施,符合017号文件关于职业高中要重视技能训练的精神。在这次制定教学计划与教学大纲过程中,既坚持了上一轮教材的“双轨制”方向,也针对其存在的问题进行了修改。例如,在编写《电子技术基础》与《电子技术技能与训练》时,验证性实验归到《电子技术基础》,而《电子技术技能与训练》这门技能培训课程,主要是根据电子行业工人技术等级标准中的技能要求,进行专业技能训练。这样,理论与技能课分工明确,更有利于教学和提高教学质量。新一轮技能训练教材的编写中,明确了要求,训练要有具体内容与目标(部颁标准),要具有可操作性和可检测性,要突出实用性和效益性。同时,在教材编写中,注意了有关教具、器材的配套、规范化和革新。

五、本次会议成立了由国家教育委员会直接领导,由部分市教委选派专家、专业教师及专业教研人员参加的全国职业高中电子电器专业教学研究组。该教学研究组的成立,将从组织上保证教学计划的实施与高水平教材的出版。

《电工技术基础》一书,就是根据这次会议审定的教学计划和教学大纲,在1989年1月第1版基础上修订而成的。本书与《电工技能与训练》一书成姊妹篇,二者相互配合使用。本版与第1版相比,内容上变动较大,为了既突出与中级技术工人考核标准有关的知识及要求,又保证电工知识的系统性、连贯性、较广泛的适用性和较强的针对性,大部分章节是重新编写的。对第1版某些理论偏多、要求过高的内容或不必要的繁琐的数学证明,作了压缩或删减。突出了基础知识和基本概念,在注重实用性的同时,加强了可读性和诱读性。

本书从分析问题的思路、叙述的语言,到例题、习题的选择和设计,都从职业高中学生的实际水平出发,力求突出职业高中特点,特别注重理论联系实际,注重对学生能力的培养,为学习后续课程和考取“双证书”打下坚实的基础。

根据教学计划和教学大纲的要求,完成本课程(包括实验)教学共需174学时,各章学时分配参考表如下:

序号	教 学 内 容	教 学 课 时 数			
		讲授	习题课	实验课	总计
一	直流电路基础知识	8	2	2	12
二	直流电路	22	4	4	30
三	电容器	7	1		8
四	磁与电磁	20	4	2	26
五	正弦交流电路	28	6	8	42
六	*应用复数解正弦交流电路	8			8
七	三相交流电路与电动机	16	2	2	20
八	变压器	7	1		8
九	*非正弦交流电路	6			6
十	过渡过程	8			8
十一	机动				6

书中打*号的内容,各校可根据具体情况进行取舍。书中小字为阅读内容。

本书由北京市职业技术教育中心教研部负责组织编写。参加本书编写工作的有北京128中陈其信(第一、二、九章)、范国祥(第三、八章)、北京市职业技术教育中心刘志平(第四、五、六、七章和实验)、北京37中李福森(第十章)。刘志平担任主编。

本书由北京市职业技术教育研究会理事长、市职业技术教育中心主任杨玉民同志和市职业技术教育中心培训部副主任、高级工程师杨朝杰同志担任主审。

本书初稿于1993年4月在北京召开的审稿会上审定。参加审稿会的除主审外,还有北京阜成路中学刘二慧、179中吴素琴、146中叶孔伟、宣武职教中心杨崇学等,他们对初稿提出了许多宝贵意见。

由于编者水平有限,书中错误和不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

1993年4月

目 录

第一章 直流电路基础知识

§ 1-1 库仑定律	1	§ 1-6 电路和欧姆定律	12
§ 1-2 电场	3	§ 1-7 电功和电功率	15
§ 1-3 电流	7	§ 1-8 电源的最大输出功率	18
§ 1-4 电源和电动势	9	小结	19
§ 1-5 电阻和电阻定律	11	习题	20

第二章 直 流 电 路

§ 2-1 电阻串联电路	22	§ 2-8 叠加原理	37
§ 2-2 电阻并联电路	25	§ 2-9 电压源、电流源及其等效变换	39
§ 2-3 电阻混联电路	27	*§ 2-10 戴维南定理	42
§ 2-4 电池的联接	29	§ 2-11 电桥电路	44
§ 2-5 电路中各点电位的计算	31	小结	46
§ 2-6 基尔霍夫定律	33	习题	47
§ 2-7 基尔霍夫定律的应用	35		

第三章 电 容 器

§ 3-1 电容器与电容	49	§ 3-4 电容器中的电场能	57
§ 3-2 电容器的参数和种类	51	小结	59
§ 3-3 电容器的联接	53	习题	60

第四章 磁 与 电 磁

§ 4-1 磁感应强度和磁通	62	§ 4-9 电感器	87
§ 4-2 磁场强度	66	§ 4-10 自感与互感	89
§ 4-3 铁磁物质的磁化与磁滞回线	68	*§ 4-11 互感线圈的同名端及其联接	92
§ 4-4 磁路的欧姆定律	71	§ 4-12 涡流和磁屏蔽	95
§ 4-5 磁场对电流的作用	73	§ 4-13 线圈中的磁场能	97
§ 4-6 电磁感应现象	78	小结	99
§ 4-7 楞次定律	80	习题	100
§ 4-8 电磁感应定律	83		

第五章 正弦交流电路

§ 5-1 正弦交流电的基本概念	104	§ 5-4 纯电感电路	119
§ 5-2 旋转矢量	111	§ 5-5 纯电容电路	124
§ 5-3 纯电阻电路	115	§ 5-6 RL 串联电路	129

§ 5-7	RC 串联电路	135	§ 5-11	并联谐振电路	159
§ 5-8	RLC 串联电路	140	§ 5-12	提高功率因数的意义和方法	163
§ 5-9	串联谐振电路	146	小结		166
§ 5-10	感性负载与电容并联电路	153	习题		168

*第六章 应用复数解正弦交流电路

§ 6-1	复数的概念	173	小结		186
§ 6-2	正弦量的复数表示法	177	习题		186
§ 6-3	应用复数解正弦交流电路	181			

第七章 三相交流电路和电动机

§ 7-1	三相交流电源	188	§ 7-7	直流电动机	209
§ 7-2	三相负载的接法	191	§ 7-8	通用电动机	213
§ 7-3	三相电路的功率	197	§ 7-9	安全用电	214
§ 7-4	三相鼠笼式异步电动机	200	小结		217
§ 7-5	三相异步电动机的启动	205	习题		218
§ 7-6	单相异步电动机	207			

第八章 变 压 器

§ 8-1	变压器的构造	220	§ 8-4	几种常用变压器	225
§ 8-2	变压器的工作原理	221	小结		228
§ 8-3	变压器的功率和效率	224	习题		229

*第九章 非正弦交流电路

§ 9-1	非正弦交流电的产生	230	§ 9-4	滤波器的概念	235
§ 9-2	非正弦交流电的分解	231	小结		237
§ 9-3	非正弦交流电路的计算	233			

第十章 过渡过程

§ 10-1	过渡过程的基本概念	238	§ 10-4	LC 振荡电路	247
§ 10-2	RC 电路的过渡过程	241	小结		251
§ 10-3	RL 电路的过渡过程	245	习题		252

实 验

实验一	伏安法测电阻	253	实验八	验证纯电感、纯电容电路电流、电压间 相位关系	261
实验二	电源电动势和内阻的测定	254	实验九	RC 串联电路的阻抗角和电压三角形	262
实验三	验证基尔霍夫定律	255	实验十	RLC 串联谐振电路	264
实验四	验证叠加原理	256	实验十一	提高日光灯的功率因数	265
*实验五	验证戴维南定理	258	实验十二	三相负载的星形与三角形连接	266
实验六	直流电桥测电阻	259			
实验七	电磁感应现象的研究	260			

第一章 直流电路基础知识

本章主要介绍电学的基本物理量、基本定律、电路的工作状态以及负载获得最大功率的条件,从而对电路建立起一个较完整的基本概念。

§ 1-1 库仑定律

一、电荷

自然界中只有两种电荷,即正电荷和负电荷。同种电荷互相排斥,异种电荷互相吸引。电荷的多少叫电量,用字母 Q 表示。在国际单位制中,电量的单位是库仑,用字母 C 表示。

电荷在物体中能够转移或传导。人们通常把容易传导电荷的物体称为导体,金属、人体、大地以及酸、碱、盐的水溶液都是导体;而将不容易传导电荷的物体称为绝缘体(也叫电介质),玻璃、橡胶、塑料、陶瓷、油、空气等都是绝缘体。还有一类物体,它们的导电性能介于导体和绝缘体之间,被称为半导体。硅、锗、硒等都是半导体。必须指出,导体、半导体和绝缘体之间,并没有严格的界限,它们只是在导电能力上有着强弱的差别。一种物质的导电能力,尤其是半导体的导电能力,往往随着外界条件的不同而变化,这使得半导体在电子技术中有着广泛的应用。

到目前为止,在自然界中所有带电体中,可以认为电子是最小的电荷,由精密的实验测知,电子的电量 $e = -1.6 \times 10^{-19}C$,或者说 $1C$ 等于 6.25×10^{18} 个电子所带的电量。把电子所带的电量,即 $1.6 \times 10^{-19}C$ 叫做基本电荷。在研究原子、原子核以及基本粒子等微观现象中,常用基本电荷作为电量的单位。

将带有等量异号电荷的物体相接触时,由于正、负电荷的数量相等,相互抵消,它们对外既不显带正电,也不显带负电,或者说呈电中性。这种现象叫做电中和。在正常情况下,无论什么物质,原子核所带正电荷(质子)的总数与原子核周围负电荷(电子)的总数是相等的。因此,原子作为一个整体呈电中性。当原子失去电子时,就显示出“带正电”;当原子获得电子时,就显示出“带负电”。所以,当物体中原有的正、负电荷在一定的条件下相互分离并发生转移时,物体就“带电”。由此可见,正、负电荷是物体固有的,它既不能被创造,也不能被消灭,而只能从一个物体转移到另一个物体,或者在一个物体内部移动,这个规律叫做电荷守恒定律。例如,用丝绸摩擦玻璃棒时,两物体相互接触处原子的热运动加剧,使玻璃棒中受束缚较弱的电子从原子中挣脱出来而转移到丝绸上。结果,失去电子的玻璃棒就带正电,获得电子的丝绸就带负电。

物体的导电性质是由物质的微观结构决定的。导体的特征是它内部有大量可以移动的自由电荷。对金属导体来说,这种自由电荷就是自由电子。金属原子最外层的电子跟原子核的联系很弱,容易脱离原子核而在整块金属中自由“游荡”,成为自由电子。金属导体就是靠自由电子来导电的,叫做电子导电。酸、碱、盐的水溶液所以能够导电,是因为其中有大量的正、负离子,这种导电叫做离子导电。在绝缘体内部,由于电子受到原子核的束缚很强,基本上没有自由电子,因此呈绝缘性质。

二、库仑定律

同种电荷互相排斥,异种电荷互相吸引。电荷之间的这种相互作用力叫做静电力。那么,静

电力的大小与什么因素有关呢？下面只讨论最简单、最基本的情况，即两个点电荷在真空中相互作用的规律。

所谓点电荷是一种理想化的模型。如果带电体间的距离比带电体本身的大小大得多，以致带电体的形状和大小对静电力的影响很小，可以略去不计，这时带电体就可以被看成抽象的一个点，叫做点电荷。

1785年法国物理学家库仑用实验方法研究了静止点电荷间的相互作用力，并得到如下实验结果：

在真空中两个点电荷间的作用力，跟它们所带电量的乘积成正比，跟它们之间距离的平方成反比，作用力的方向在它们的连线上。这就是库仑定律。

如果用 q_1, q_2 表示两个点电荷的电量，用 r 表示它们之间的距离，用 F 表示它们之间的静电力，则库仑定律可以写成下列公式：

$$F = K \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} \quad (\text{式 1-1})$$

式中 $q_1(q_2)$ ——点电荷电量，单位为库仑(C)；

r ——点电荷间的距离，单位为米(m)；

F ——静电力，单位为牛顿(N)；

K ——比例恒量，单位为牛顿·米²/库仑²(Nm²/C²)。

实验证明： $K = 9.0 \times 10^9 (\text{N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2)$

如果两个带电体不能看作点电荷，可以把它们看作是由许许多多点电荷组成的，那么点电荷间的作用力的总和就是这两个带电体间的作用力。

电荷之间的相互作用力，是根据库仑定律求出的，所以静电力又叫库仑力。

【例题】 如果两个点电荷各带 1C 的电量，在真空中彼此相距 1m，求它们之间的库仑力的大小。

解：由公式(1-1)可得，此库仑力为

$$F = K \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{1 \times 1}{1^2} = 9 \times 10^9 (\text{N}) \approx 1000.000 \text{ 吨。}$$

如此巨大的作用力告诉我们，1C 是一个非常巨大的电量，实际上任何带电体都不能够带有 1C 的电量，而只能占 1C 的极小百分比。

思考与练习

1. 电荷有几种？分别是如何规定的？
2. 在通常情况下，物质为什么不显电性？物体带电的本质是什么？
3. 手里拿着金属棒，与丝绸摩擦后为什么不能使金属棒带电？
4. 在真空中的两个点电荷，所带电量分别为 $+4 \times 10^{-9}\text{C}$ 和 $-2 \times 10^{-9}\text{C}$ ，相距 10cm。每个电荷受到的力是多大？是引力还是斥力？
5. 在真空中两个点电荷之间的作用力是 0.1N，若将点电荷之间的距离变为原来的 $1/4$ 时，相互作用力变为多少？若将其距离变为原来的 2 倍时，相互作用力变为多少？
6. 在真空中的两个点电荷间的距离不变，它们之间的相互作用力，在下列情况下将如何变化？(1) 一个电荷的电量变为原来的 2 倍；(2) 两个电荷的电量都变为原来的 $1/2$ 。

§ 1-2 电 场

一、电场

人推车时,人手和车子直接接触,它们之间存在着相互作用力,而两个带电体之间并没有直接接触,为什么它们之间存在静电力呢?原来这是因为在电荷的周围存在着一种特殊的物质,叫做电场。电场和电荷是不可分割的整体,只要有电荷存在,在它周围的空间里就一定有电场存在。静止的电荷所产生的电场叫做静电场。静电力并不是两个电荷之间的直接作用,而是依靠电场来实现的,即是一个电荷的电场对另一个电荷的作用。可见,电荷间相互作用的静电力,实际上就是电场对电荷的作用力,所以常把静电力又称为电场力。

电场这种物质的特殊性,在于它不是由分子和原子构成的,无论在真空中还是实物中,电场都可以存在。

电场具有两个重要特性:

1. 位于电场中的任何带电体都要受到电场力的作用;
2. 带电体在电场中受到电场力作用而移动时,电场力要做功,这说明电场具有能量。

利用电场对电荷有作用力的性质,可以定量地研究静电场(以下简称电场)的强弱特性。

二、电场强度

设产生电场的电荷(称为场电荷)是 $+Q$ (图 1-1),为了研究它的电场的强弱特性,还必须引入一个电量极小的检验电荷 q 。这样, q 所产生的电场就不会对被研究的电场带来影响;通常规定检验电荷 q 带正电。

由库仑定律得知,检验电荷 q 所受的电场力 F 的大小与 q 距场电荷 Q 的远近有关,距 Q 越近的地方, q 受到的电场力越大,那里的电场就越强。在图 1-1 中,A 点的电场较强,B 点的弱些,C 点更弱。由于电荷 q 在电场中

某点所受的电场力 F 的大小跟电量 q 是成正比的,所以在电场中的同一点比值 F/q 是不变的。这个比值 F/q 是一个与检验电荷 q 无关的量,它表示单位正电荷在电场中某点所受的电场力的大小。比值越大,就表示那一点的电场越强。因而,可以用这个比值来表示电场的强弱。我们规定:放入电场中某一点的检验电荷受到的电场力跟它的电量的比值,叫做这一点的电场强度,简称场强。

如果用 E 表示电场强度,用 F 表示检验电荷 q 受到的电场力,那么

$$E = \frac{F}{q} \quad (\text{式 1-2})$$

电场强度在数值上等于单位正电荷在该点所受到的电场力。

在国际单位制中, F 的单位是牛顿(N), q 的单位是库仑(C),则场强 E 的单位为牛顿/库仑(N/C)。

跟力一样,场强也是矢量,它不但有大小,而且有方向。我们规定,电场中某点的场强方向就是正电荷在该点所受电场力的方向。所以负电荷受力的方向跟场强方向相反。图 1-1 中, F_A ,

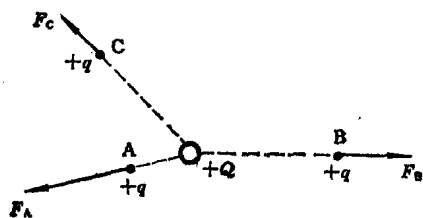


图 1-1 点电荷产生的电场

F_B, F_C 的方向就分别表示 A、B、C 三点的场强方向。

【例题 1】 有一个点电荷 Q ，试求与此点电荷相距为 r 的任一点 P 处的场强。

解：设在 P 点放入一个检验电荷 q ，由式(1-1)，可求得作用在 q 上的电场力为

$$F = K \frac{Q \cdot q}{r^2}$$

再由式(1-2)可求得 P 点场强的大小为

$$E = \frac{F}{q} = K \frac{Q}{r^2} \quad (\text{式 1-3})$$

由此例可见，电场中某点的场强的大小与该点的电荷电量无关。

带电体周围的电场是看不见的，所以用假想的曲线——电力线来形象地表示电场。电力线和电场强度之间的关系是：电力线上每一点的切线方向表示该点的场强方向；电力线的疏密程度，表示场强的大小，即电力线密的地方场强大，电力线疏的地方场强小。这样，根据电力线的形状和分布就可以知道电场中各处场强的大小和方向。

电力线具有两个主要性质：一是在静电场中电力线总是起始于正电荷，终止于负电荷，不闭合，不中断；二是电力线均不会相交，因为电场中每一点的场强方向只有一个。图 1-2 所示为几种常见电场的电力线。

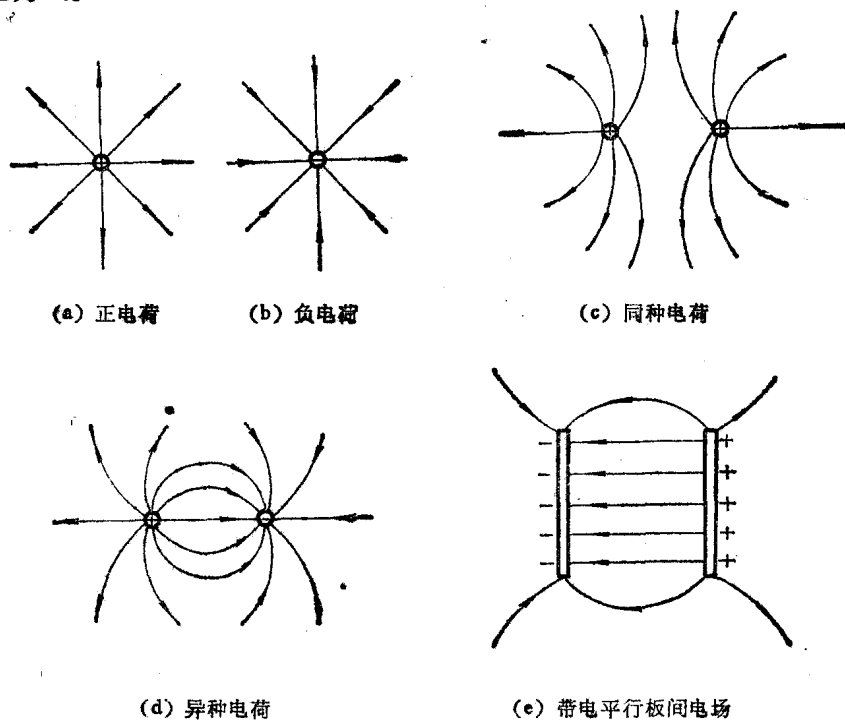


图 1-2 几种电场的电力线

如果电场中各点场强的大小和方向都相同，这样的电场叫做匀强电场。带电平行板间的电场，除边缘附近外，就是匀强电场，如图 1-2(e) 所示。匀强电场的电力线是疏密程度一样的平行直线。

三、电压和电位

(一) 电场力做功

在电场中,电荷要受到电场力的作用而发生位移,这就是说电场力对电荷做了正功;反之,如果使电荷逆着它所受电场力的方向移动,就需要由外力克服电场力做功,也就是电场对电荷做了负功。

假设在匀强电场 E 中有两点 a 和 b , 如图 1-3 所示。用 $\overline{ab}$ 表示 a 、 b 两点间的直线距离。处于 a 点的检验电荷 $+q$ 受到的电场力为

$$F = q \cdot E$$

方向和场强 E 的方向相同。

当 $+q$ 沿着 E 的方向由 a 点移到 b 点时, 电场力对它做的功为

$$A_{ab} = F \cdot \overline{ab} = q \cdot E \cdot \overline{ab} \quad (\text{式 1-4})$$

如果使 $+q$ 沿与 E 成 θ 角的方向由 a 点经 c 到 b 点, 在由 a 到 c 的过程中, 电场力做功为 $A_{ac} = q \cdot E \cdot \overline{ac} \cos \theta = qE \cdot \overline{ab}$, 在由 c 到 b 的过程中, 因位移方向与场强方向垂直 ($\cos \theta = 0$), 电场力不做功, 所以沿 acb 路径移动, 电场力做的功仍为式(1-4)所示。可以证明: 在匀强电场里, 电场力对电荷做的功只与电荷的电量及电荷的起点和终点的位置有关, 而与电荷经过的路径无关。这一结论对非匀强电场也是适用的。

(二) 电压

式(1-4)表明, 当距离 $\overline{ab}$ 一定时, 在已知的电场里, 电场力 F 所做的功 A_{ab} 与电量 q 是成正比的。因此, 比值 A_{ab}/q 是一个恒定不变的量。当 a 点和 b 点的位置确定时, 这个比值只和电场本身的性质有关, 所以可以用它来反映电场的性质, 称这一比值为 a 点和 b 点之间的电压, 用符号 U_{ab} 来表示, 即

$$U_{ab} = \frac{A_{ab}}{q} \quad (\text{式 1-5})$$

此式表明, 电场中任意 a 、 b 两点间的电压, 等于单位正电荷从 a 点移动到 b 点时电场力所做的功。若 $U_{ab} > 0$ 表示电场力做正功; $U_{ab} < 0$ 则表示电场力做负功, 即外力做功。在国际单位制中, 电量单位用库仑 (C), 功的单位用焦耳 (J) 时, 则电压单位为伏特 (V)。当 1C 的电荷, 从电场中某点移动到另一点, 电场力所做的功为 1J 时, 这两点间的电压是 1V, 即

$$1V = 1J/C$$

电压还有其它单位: 千伏 (kV)、毫伏 (mV)、微伏 (μV)。

$$1kV = 10^3V$$

$$1V = 10^3mV = 10^6\mu V$$

由式(1-5), 可得

$$U_{ab} = \frac{q \cdot E \cdot \overline{ab}}{q} = E \cdot \overline{ab}, \quad \overline{ab}$$

是沿场强方向从 a 点到 b 点的距离, 用 l 表示, 则有

$$E = \frac{U_{ab}}{l} \quad (\text{式 1-6})$$

式(1-6)说明, 在匀强电场中, 场强的大小等于沿场强方向单位距离上的电压。由此可以看出, 电场强度与电压有着密切的关系。电场强度的另一个单位是伏/米 (V/m)。这个单位与前面

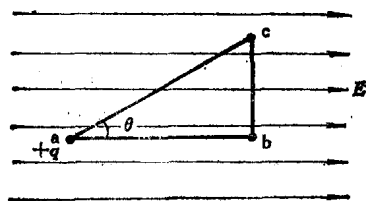


图 1-3 匀强电场中点电荷受力分析

给出的场强单位牛顿/库仑 (N/C) 是等同的。

由式(1-5), 还可得到

$$A_{ab} = q \cdot U_{ab} \quad (\text{式 } 1-7)$$

如果已知电场中两点间的电压及电荷的电量, 就可直接用式(1-7) 计算在这两点间移动电荷所做的功, 而不必考虑电场是否为匀强电场、电场力多大等等, 这是很方便的。

【例题 2】 设一正点电荷的电量为 0.002C, 把它从电场中的 A 点移动到 B 点时, 电场力所做的功为 0.05J, 试求 A、B 两点间的电压。如果点电荷的电量为 0.08C, 电场力把它由 A 点移到 B 点所做的功是多少?

解: 由式(1-5)可求出 A、B 两点间电压为

$$U_{AB} = \frac{A_{AB}}{q} = \frac{0.05}{0.002} = 25(\text{V})$$

当把电量为 0.08C 的点电荷由 A 移到 B, 电场力做功为

$$A_{AB} = q \cdot U_{AB} = 0.08 \times 25 = 2(\text{J})$$

(三) 电位

在电路(或电场)中电压和电位是密切联系的, 它们之间的关系是: 电压就是电位之差。具体来说, 电路中 a、b 两点间的电压 U_{ab} 等于 a 点电位 V_a 和 b 点电位 V_b 之差。即

$$U_{ab} = V_a - V_b \quad (\text{式 } 1-8)$$

电位的单位也是 V。如果 $U_{ab} > 0$ (正值), 说明 a 点的电位 V_a 比 b 点的电位 V_b 高; 如果 $U_{ab} < 0$ (负值), 说明 a 点的电位 V_a 比 b 点的电位 V_b 低。可以计算出

$$U_{ab} = -U_{ba}$$

式(1-8)表明, 当 a、b 两点间的电压 U_{ab} 给定后, 只能确定 a、b 点的电位差, 而不能确定 a 点或 b 点的电位值。那么, 如何确定 a 点或 b 点的电位值呢? 电路(或电场)中每一点都有一定的电位, 这就好比空间的每一点都有一定的高度一样。讲高度先要选择一个起点位置作为参考点(一般选择海平面), 并把参考点的高度定为零(称为零高度点), 这样, 空间中某点和参考点间的高度差, 称为该点的高度。与此类似, 讲电位也要选择一个点作为参考点, 并把参考点的电位定为零(称为零电位点), 这样, 电路(或电场)中某点 a 和参考点 o 间的电位差(电压) U_{ao} 称为 a 点的电位 V_a , 即

$$V_a = U_{ao},$$

这就是说 a 点的电位等于电场力把单位正电荷从一点 a 移到参考点 o 所做的功。同样

$$V_b = U_{bo}$$

零电位点(参考点)的选择是任意的。在电子线路中选择公共点; 在对电场作理论分析时选择无穷远处; 在工程技术中选择大地、机壳。若把电器设备的外壳“接地”, 那么外壳的电位就为零。

电位和电压是不同的两个概念。电路(或电场)中各点的电位值是相对的, 与参考点的选择有关; 但两点间的电位差(电压)是绝对的, 与参考点的选择无关。这种情形类似于高度与高度差之间的关系, 高度与起点位置有关, 而高度差与起点位置是无关的。因参考点的选择不同, 电路中某点的电位可能是正值(高于参考点)或是负值(低于参考点)。例如, $U_{ab} = 5\text{V}$, 当选择 a 为参考点时, $V_a = 0$, $V_b = -5\text{V}$; 当选择 b 为参考点时, $V_b = 0$, $V_a = 5\text{V}$ 。

由于 $U_{ab} = V_a - V_b$, 当 $V_a > V_b$ 时, $U_{ab} > 0$, 表示由 a 点到 b 点是电位降; 若 $V_a < V_b$, $U_{ab} < 0$, 表示由 a 点到 b 点是电位升。所以规定电压的正值方向(简称电压方向)是从高电位点指向低电位点, 这样规定是为了研究问题方便, 但电压不是向量。电压也叫电位降(俗称电压降)。

在静电场中, 使正电荷(或负电荷)沿场强(电力线)方向由 a 到 b 移动时, 电场力对电荷做正功(或负功), 所以由式 (1-5) $U_{ab} = \frac{A_{ab}}{q} > 0$, 即 $V_a > V_b$, 这说明沿场强方向无论被移动的是正电荷还是负电荷, 电荷都是从高电位点向低电位点移动, 因此, 场强(电力线)是指向电位降低的方向的。

【例题 3】 在电场中有 a、b、c 3 点。带有 2C 电量的电荷由 a 点到 b 点移动时, 电场力做功 6J; 由 b 点到 c 点电场力做功 4J。若以 a 点为参考点, 试求 b 点、c 点的电位。

解: 以 a 为参考点, $V_a = 0$

因为
$$U_{ab} = \frac{A_{ab}}{q} = \frac{6}{2} = 3(\text{V})$$

所以
$$V_a - V_b = 3(\text{V}), 0 - V_b = 3(\text{V}), V_b = -3(\text{V})$$

又因为
$$U_{bc} = \frac{A_{bc}}{q} = \frac{4}{2} = 2(\text{V})$$

所以
$$V_b - V_c = 2(\text{V}), -3(\text{V}) - V_c = 2(\text{V}), V_c = -5(\text{V})$$

思考与练习

1. 如何用检验电荷判断电场的强弱和电场的方向?
2. 在场电荷 Q 附近的任意一点, 如果没有把检验电荷放进去, 根据 $E = F/q$, 这点的场强是否为零?
3. 电压与电位有什么不同?
4. 场强大的地方, 电位是否一定高? 电位高的地方是否场强一定强?
5. 电路中某两点的电位很高, 那么这两点间的电压也就很高, 这句话对吗? 如果某两点电位差为零, 则这两点的电位均为零, 对吗?
6. 把负电荷从电场中 a 点移到 b 点时, 如果(1)电场力做正功;(2)电场力做负功, 问哪一点的电位高?
7. 正电荷(或负电荷)在电场力的作用下, 是由高电位向低电位运动, 还是由低电位向高电位运动?
8. 在电场中, 把 $q = 10^{-7}\text{C}$ 的正电荷从 a 点移到 b 点时, 外力做功 10^{-2}J , 求 a、b 两点间的电位差(电压), 并指出哪一点的电位高?

§ 1-3 电 流

一、电流

带电粒子(电荷)的定向运动叫做电流。物体中的电子、质子都是在不断运动着的(热运动)。在电场(电压)的作用下, 这些带电粒子除作不规则的热运动外, 还要作定向的运动。一般地说, 要产生电流, 必须同时具备两个条件: 1. 要有可作定向移动的带电粒子, 这是形成电流的内因; 2. 要有能使带电粒子作定向移动的电场(电压), 这是形成电流的外因。在外电场作用下, 金属导体中的电流是自由电子定向移动而形成的, 如图 1-4 所示。电解液或电离后气体中的电流是正、

负离子在电场力作用下相向运动而形成的。所以为了使导体中有持续的电流,必须使导体两端保持持续的电压。手电筒电路的持续电压是干电池提供的,照明电路的持续电压是发电机提供的。干电池、发电机等都是电源。在电路中电源的作用就是保持导体两端的电压,使电路中有持续的电流。

既然电流是带电粒子(电荷)的定向移动形成的,所以它有一定的方向。习惯上规定正电荷运动的方向为电流的方向。这样,在导体中电流的方向总是沿着电场方向,从高电位处指向低电位处,所以当导体中通过电流时,导体两端的电位差(电压)又叫电位降落或电压降。

但是要注意,金属导体内电子移动的方向与所规定的电流的方向相反。不过,这对今后讨论问题并无影响。

二、电流强度

电流有强有弱。在相等的时间内,通过导体横截面的电荷越多,导体中的电流越强;通过的电荷越少,电流就越弱。电流的强弱用单位时间内通过导体横截面的电量来表示,叫做电流强度,简称电流,用字母 I 表示,有

$$I = \frac{q}{t} \quad (\text{式 1-9})$$

式中 q ——通过导体横截面的电量,单位库仑(C);

t ——通电时间,单位秒(s);

I ——电流强度,单位安培(A)。

在国际单位制中,电流强度的单位是安培,简称安(A)。如果在1秒内通过导体横截面的电量是1C,导体中的电流就是1A,即: $1\text{A} = 1\text{C/s}$ 。

电流的常用单位还有毫安(mA)和微安(μA):

$$1\text{mA} = 10^{-3}\text{A}$$

$$1\mu\text{A} = 10^{-6}\text{A}$$

电流强度是一个标量,它仅由单位时间内通过已知截面的电量多少决定。至于电路中电流的方向,它只是表示电路中电荷流动的去向而已。

按大小和方向随时间的变化规律不同,可将电流分为直流电流、脉动电流和交变电流。

大小和方向都不随时间变化的电流叫做稳恒电流(直流电流),简称直流电。如图1-5(a)所示。

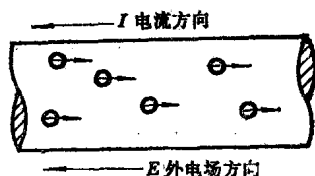


图 1-4 金属导体中的电流

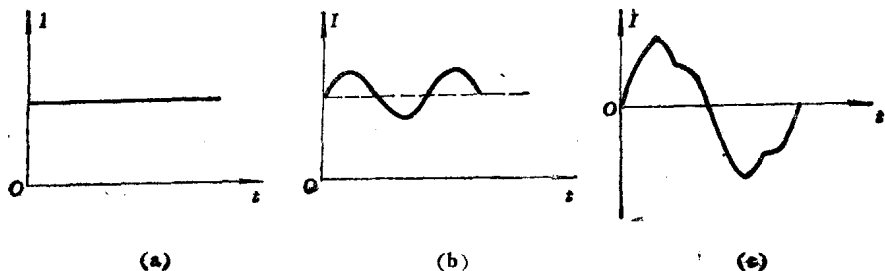


图 1-5 直流电流、脉动电流与交流电流

大小随时间变化,而方向不随时间变化的电流叫做脉动电流。如图 1-5(b) 所示。

大小和方向均随时间而变化的电流叫做交变电流,简称交流电。如图 1-5(c) 所示。

【例题】 导线中的电流强度为 0.5A ,问在多少时间内通过导线横截面的电量为 60C ?

解:
$$t = \frac{q}{I} = \frac{60}{0.5} = 120(\text{s})。$$

思考与练习

1. 产生电流的条件是什么?
2. 电流的方向如何规定? 金属导体中的电流方向是自由电子定向移动的方向,对吗?
3. 按大小和方向随时间的变化规律,可将电流分为几种? 分别是什么?
4. 导线中的电流强度为 10A ,求在 20s 的时间内有多少个电子通过导线的横截面?
5. 在 1min 内通过某电炉丝的电量是 300C ,求电炉丝中的电流强度是多少 A ? 多少 mA ? 多少 μA ?

§ 1-4 电源和电动势

一、电源

当电流通过用电器(电灯、电炉、电动机等)时,用电器把电能转换成所需要的其它形式的能。为了能够向用电器连续不断提供电能,需要一种可以把其它形式的能转换成电能的装置,这种装置称为电源。电源的种类很多,常用的有电池(干电池、蓄电池)和发电机两种。电池是把化学能转换成电能的装置(化学电源),而发电机则是把机械能转换成电能的装置。所以,电源实质上是能量转换装置,即电源就是能把其它形式的能转换成电能的装置。电源有正、负两个极,正极电位高,负极电位低,两极间有一定的电压。把负载的两端分别跟电源的正、负极连接,负载中就有了电流。

二、电源的电动势

(一) 非静电力

首先来看一看电源是怎样在电路中维持恒定电流的。图 1-6 表示含有电源的整个电路,图中 A、B 分别是电源的正极和负极。假定开始时它们分别带正电荷和负电荷,在电源的外部电路 ACB 中,正电荷在电场力(静电力)的作用下将从高电位的正极 A 向低电位的负极 B 运动。正电荷运动的结果,势必使正、负极板上的电荷因中和而减少,它们所产生的电压也将变小,最后等于零,于是导体中便不能维持恒定的电流。

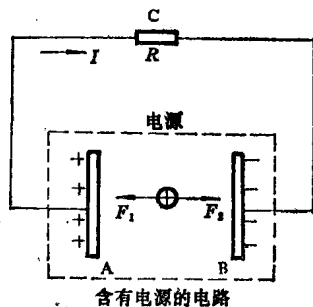


图 1-6 含有电源的电路

为了维持导体中的电流,在电源的内部必须有一种力能够不断地把正电荷从低电位的负极(B 极)搬到高电位的正极(A 极),使得正、负极板上分别带上恒定的正、负电荷,保持电源两极间有一个恒定的电压。显然这种力不是静电力,称为非静电力。电池里的非静电力是化学力,它是来自于金属和溶液之间的化学反应;发电机里的非静电力是电磁力,它是由于电磁感应产生的(这些内容将在第四章中叙述)。

电源的两个极,开始不带电。由于非静电力的作用,使正电荷从 B 极向 A 极运动,结果 A 极端带正电, B 极端带负电,从而在电源内部建立了一个静电场,它的方向从 A 极板到 B 极板。这