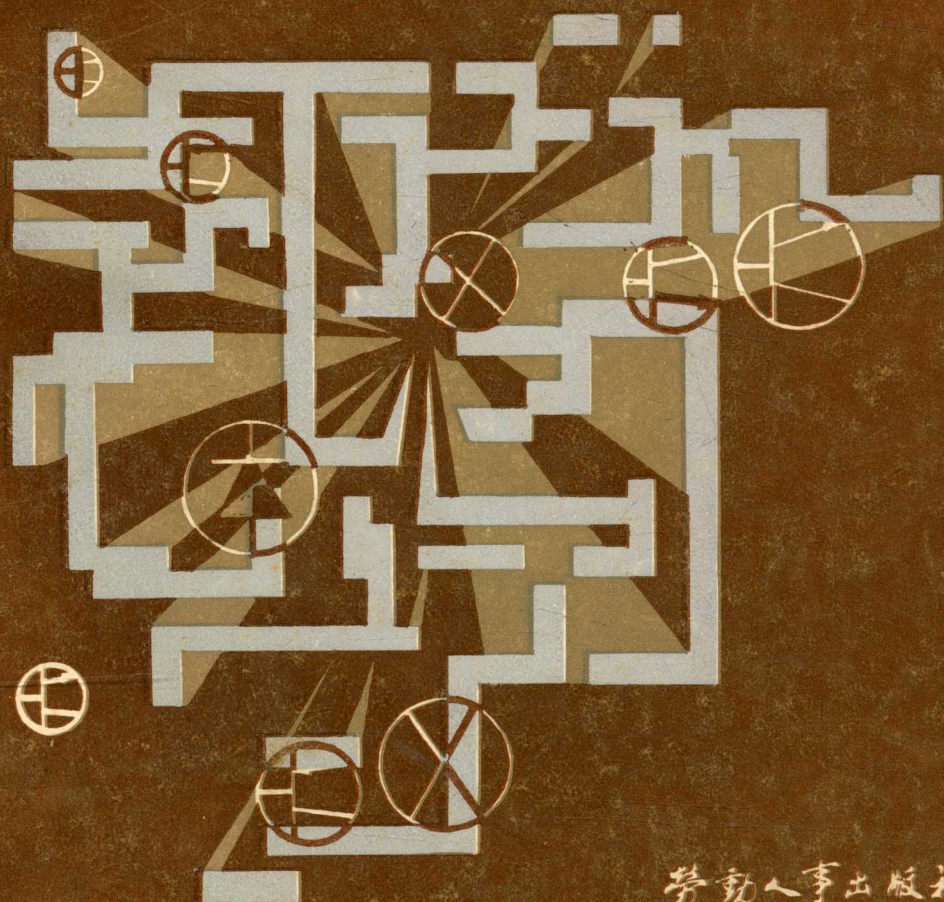


技工学校机械类通用教材



电 工 学



劳动人事出版社

电 工 学

劳动人事部培训就业局编



劳动人事出版社

本书是根据劳动人事部培训就业局审定颁发的《电工学教学大纲》编写，供技工学校招收初中毕业生使用的统编教材。

本书内容包括：直流电路、磁与电磁的基本知识、交流电路、变压器与交流异步电动机、常用机床电器与电力拖动基础、电能的传输与安全用电；晶体管低频放大与振荡电路、晶体管整流与稳压电路。

本书也可作为青工培训和职工的自学用书。

本书由唐益龄、张固、黄世麟、程正庆编写；梁如福、董瑞峰审稿；主编唐益龄；主审梁如福；张英儒编辑加工。

电 工 学

劳动人事部培训就业局编

劳动人事出版社出版

（北京市和平里中街12号）

新华书店北京发行所发行

上海市爱建印刷厂印刷

787×1092 16开本 16.25印张 400千字

1983年4月北京第一版

1985年4月上海第一次印刷

印数 1——50000册

书号：7238·0085

定价：2.25元

前 言

为了适应技工学校逐步转向以招收初中毕业生为主的教学要求，我局于一九八三年七月委托部分省、市劳动人事厅（劳动局），分别组织编写了适合初中毕业生使用的技工学校机械类通用工种各课程所需的教材。这次组织编写的有语文、数学、物理、化学、工程力学、机械基础、金属材料与热处理、电工学、机械制图（配套使用的有机机械制图习题集）、车工工艺学（配套使用的有车工工艺学习题集）、车工生产实习、钳工工艺学、钳工生产实习、铸工工艺学、铸工生产实习、铆工工艺学、机械制造工艺基础等十七种。其中语文、数学、物理、化学等教材，非机械类工种也可以选用。其他课程的教材，以后将陆续组织编写。

上述十七种教材，是按照党的教育方针，本着改革的精神组织编写的。在内容上，力求做到理论与实际相结合，符合循序渐进的要求，从打好基础入手，突出机械类技工学校生产实习教学的特点，密切联系我国机械工业的生产实际，并且尽量反映工业生产中采用新材料、新设备、新技术、新工艺的成就，以便使培养出来的学生，能够具有一定的文化知识，比较系统地掌握专业技术理论和一定操作技能，为今后的进一步提高打下基础。

这次组织编写教材的工作，由于时间比较紧促，经验不足，缺点和错误在所难免，希望使用教材的同志提出批评和改进意见，以便再版时修订。

劳动人事部培训就业局

一九八五年四月

目 录

绪 论	(1)
第一章 直流电路和电容器	(3)
§ 1.1 电路及欧姆定律	(3)
习题一	(10)
§ 1.2 电阻的串联、并联和混联电路	(11)
习题二	(16)
§ 1.3 基尔霍夫定律	(19)
习题三	(24)
§ 1.4 电功与电功率	(27)
习题四	(30)
§ 1.5 电 容 器	(31)
习题五	(36)
本章小结	(37)
实 验 基尔霍夫定律的验证	(39)
第二章 磁与电磁	(40)
§ 2.1 电流的磁效应	(40)
习题一	(42)
§ 2.2 磁场对电流的作用	(42)
习题二	(45)
§ 2.3 磁导率与磁场强度	(46)
习题三	(48)
§ 2.4 铁磁材料的磁性能、分类和用途	(48)
习题四	(51)
§ 2.5 磁路欧姆定律	(51)
习题五	(53)
§ 2.6 电磁感应	(53)
习题六	(61)
本章小结	(65)
第三章 正弦交流电路	(67)
§ 3.1 交流电的基本概念	(67)
习题一	(71)
§ 3.2 正弦交流电的三种表示方法	(72)
习题二	(75)

§ 3.3 单相交流电路	(75)
习题三	(89)
§ 3.4 提高功率因数的意义及简单并联电路	(90)
习题四	(94)
§ 3.5 三相交流电路	(94)
习题五	(101)
§ 3.6 涡流与趋肤效应	(102)
习题六	(104)
本章小结	(104)
实 验 单相交流电路	(107)
第四章 变压器与鼠笼式交流异步电动机	(109)
§ 4.1 变压器	(109)
习题一	(116)
§ 4.2 三相鼠笼式异步电动机	(118)
习题二	(127)
§ 4.3 单相异步电动机	(128)
习题三	(130)
* § 4.4 直流电动机	(130)
* 习题四	(139)
本章小结	(140)
第五章 工作机械的基本电气控制线路	(142)
§ 5.1 常用低压电器	(142)
§ 5.2 三相鼠笼式异步电动机的直接起动控制线路	(154)
§ 5.3 三相鼠笼式异步电动机的正反转控制线路	(156)
§ 5.4 工作台的限位和自动往返控制线路	(158)
§ 5.5 三相鼠笼式异步电动机的星——三角降压起动线路	(160)
§ 5.6 三相鼠笼式异步电动机的制动及能耗制动控制线路	(162)
§ 5.7 两台电动机的联锁控制线路	(165)
§ 5.8 几种工作机械的电气控制线路	(165)
§ 5.9 电气控制系统在运行中的监视和常见故障	(171)
习 题	(172)
本章小结	(175)
实 验 基本电气控制线路的接线和操纵	(176)
第六章 输配电、照明及安全用电	(178)
§ 6.1 发电、输电和配电概况	(178)
§ 6.2 常用电气照明电路	(179)
§ 6.3 安全用电常识	(182)
习 题	(188)
本章小结	(188)

第七章 晶体二极管及整流滤波电路	(190)
§ 7.1 半导体的基本知识.....	(190)
§ 7.2 晶体二极管.....	(191)
§ 7.3 整流电路.....	(194)
§ 7.4 滤波电路.....	(197)
§ 7.5 硅稳压二极管及其应用.....	(199)
习 题.....	(201)
本章小结.....	(202)
第八章 晶体三极管及其基本电路	(204)
§ 8.1 晶体三极管.....	(204)
§ 8.2 晶体管低频电压放大电路.....	(211)
§ 8.3 晶体管功率放大电路.....	(219)
§ 8.4 晶体管串联型稳压电路.....	(221)
* § 8.5 晶体管正弦振荡电路.....	(224)
* § 8.6 晶闸管简介.....	(227)
习 题.....	(231)
本章小结.....	(234)
实验一 单管低频小信号电压放大器的安装和调试.....	(235)
实验二 串联型稳压电源的安装.....	(236)
附录	(238)

绪 论

电能的应用及电气化的重要性

在相当长的时间里,人类都是处于无电状态下生活的,社会生产发展极为缓慢,生产力很低。自从库仑发现电荷间的相互作用,奥斯特发现电流周围存在着磁场,法拉弟发现电磁感应定律,并创造出世界上第一台感应发电机之后,才开辟了一个伟大的电力时代。电工技术的迅速发展并应用于各个领域之中,在生产技术上曾引起了划时代的革命。

当今,电能的应用是极其广泛的。它是现代工业、农业、国防、交通及科研等部门的主要动力来源。在工业上,各种生产机械几乎都是由电力来驱动。在金属冶炼、电镀等行业中也需强大电力。在农业生产中的电力排灌,粮食和饲料的机械加工等,都是以电力为动力完成的。在现代国防中的雷达、导弹、军舰等系统中,在交通运输业中的电气机车、电车、飞机等也都装有很多电气设备,离不开电能。在科研工作中的电子显微镜、回旋加速器及各种检测仪器仪表中,也无一不在应用电工技术。在日常生活中,利用电能的实例更是举不胜举,如电灯、电话、电视机、电风扇、电冰箱以及洗衣机等都离不开电。另外,随着科学技术的发展,大量电子产品不断问世,如电视电话早已开始使用,可挂在墙上的平面电视机及可放在口袋中的超小型彩色电视机也都出现,微型电子计算机正在普及。而大型电子计算机不但运算速度可高达每秒数亿次,而且正向着人工智能方面发展,目前正推动着世界新技术革命向深入方向发展。这些电子产品的发展和应用也完全离不开电能。

可见,电能的生产和应用在国民经济中占有非常重要的地位。我国实现四个现代化,在很大程度上取决于实现电气化的程度。从某种意义上讲,电气化的程度已作为衡量一个国家是否发达的主要标志之一。

电能之所以有如此巨大的作用和如此广泛的应用,是因为它具有以下优点:

1. 易于转换 电能不但可以通过发电设备很方便地把水能、热能、原子能等转换成电能,而且又可很方便地通过用电器将电能转换成其他形式的能量。如利用水轮和汽轮发电机可分别把水能和热能转换成电能等;而通过电动机又能将电能转换成机械能;通过电炉、电灯和扬声器可分别将电能转换成热能、光能和声能等。另外,在工业生产中也常利用传感器将非电量的变化转换为电量的变化,实现自动控制。

2. 便于输送 通常发电站建于有能源的地方,而厂矿多建在城市和原料地,二者有一定距离。但通过输电设备可很方便地进行电能的远距离输送,不但容易分配,传输效率高,而且设备简单。

3. 便于控制 由于电流的速度等于光速,电气设备的动作又非常迅速,所以便于实现远距离控制和实现生产过程自动化。目前电子计算机的大量使用,还可代替人的繁重劳动实现无人操作。

此外,电能还具有转换效率高、测量和调整都方便等优点。

我国电气工业和电子工业发展概况

我国虽然是文明古国，在电学和磁学方面对人类都有一定贡献，但漫长的封建社会使我国的社会生产力极低。解放前仅有的一点电力工业也十分落后，更没有电子工业。解放后，我国不但发展了电力工业，还新建了电子工业。

目前，我国已建成装机容量为122.5万千瓦的刘家峡大型水电站；正在兴建世界上最大的水电建设工程——长江三峡水利枢纽，其中葛州坝一期工程已提前竣工并开始发电，敷设了50万伏的超高压输电线。我国将大力发展坑口火力电站，有计划地发展城市供热电站；自行设计的第一座30万千瓦核电站也正在兴建中。我国一九八四年的发电量已达3746亿度，是一九四九年发电43亿度的87倍多。

在电机制造方面，解放前我国仅能生产200千瓦的水轮发电机，而不能生产汽轮发电机。现已能制造30万千瓦的水轮发电机和30万千瓦的双水内冷汽轮发电机，并基本形成了一整套电机制造工业体系。

在电子工业方面，目前我国已能成批生产黑白和彩色电视机、各种收录机和微型计算机；研制成功80万倍电子显微镜和每秒运算1亿次的大型电子计算机，成功地发射了同步通信卫星，跨入世界先进行列；各种数控机床和自动生产线也已逐步投入使用。

但是，总的说来，我国的科学技术还很落后，为适应建设四个现代化的要求，尚需大家做出艰苦的努力。

本课程的性质、任务和学习中应注意的问题

电工学是研究电磁的自然规律在工程技术上应用的学科，是一门技术基础课。通过本课程的学习，可获得必要的电工基础知识和基本技能；了解一般机械工业常用低压电器的主要特点和基本功能；获得正确使用、维护电气设备以及安全用电的基本知识；看懂一般的简单电气控制线路图；了解一点电子技术常识。

本课程的内容广泛，既有系统的理论，又有具体的实际应用，在学习时应注意以下几点：

1. 要理解各物理量的意义，熟记它们的符号和单位；
2. 要熟记各定律的内容，理解它们的含义，掌握各有关量间的相互关系，并注意它们的适用范围；
3. 要弄清公式中各符号的意义和单位，并注意它们的使用条件和应用范围；
4. 在分析各电路时，应首先弄清各元器件的作用及电路形式，然后再根据已学知识来分析；
5. 要充分重视实验和在实际工作中对电气设备的正确使用，理论联系实际，以巩固和加深对所学知识的理解，培养独立工作能力。

第一章 直流电路和电容器

§ 1.1 电路及欧姆定律

1. 电路和电路图

电流所流过的路径称为电路。如图1.1所示，当合上开关（电键）时，因电流流过小电珠，小电珠就发光。干电池、小电珠、开关和连接导线就构成了一个最简单的电路。

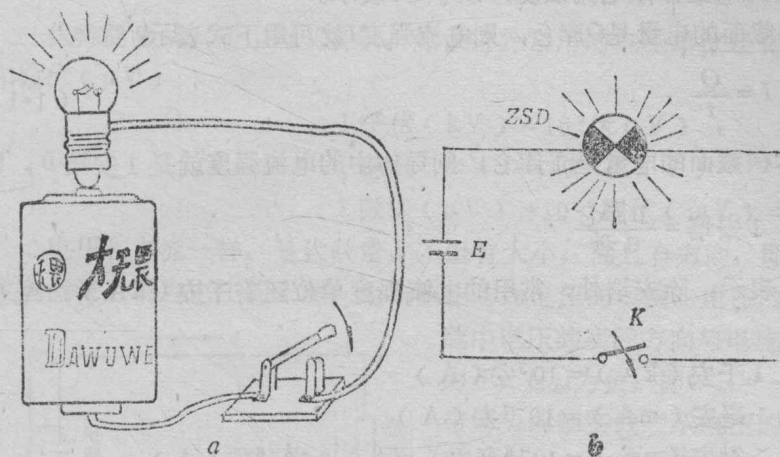


图1.1 电路和电路图

能转变成热能，扬声器可将电能转变成声能，而电动机则可以把电能转变成机械能等。开关是控制电路接通或断开的器件。连接导线担负传输或分配电能的任务。

电路通常有三种状态：

通路 指处处连通的电路。通路也称闭合电路，简称闭路。只有在通路的情况下，电路才有正常的工作电流。

开路 指电路中某处断开，不成通路的电路。开路也称断路，此时电路中无电流。

短路 指电路（或电路中的一部分）被短接。如负载或电源两端被导线连接在一起，就称短路。短路也称捷路，此时电源提供的电流将比通路时提供的电流大很多倍。一般不允许短路。

在设计、安装或修理各种实际电路时，常需要画出表示电路连接情况的图。虽然实物图比较直观，但绘制非常麻烦。所以通常很少画实物图，而是画电路图。所谓电路图就是用国家统一规定的符号来表示电路连接情况的图。如图1.1a所示电路可用图1.1b表示。

2. 电路的几个物理量

(1) 电流 我们知道，任何物质都是由分子组成，分子是由原子组成，而原子又是由带正电的原子核和带负电的电子组成。电子在原子核外面按层分布，并以每秒几十万米的高速度绕原子核旋转，同时又作自转。每个电子所带的负电荷为 1.6×10^{-19} 库仑。原子核又由带

正电的质子和不带电的中子组成的。每个质子所带的正电荷也为 1.6×10^{-19} 库仑。由于每个原子中的质子数和电子数总是相等，所以原子不显电性。当电子脱离原子核的束缚时就成为自由电子。获得电子的原子或分子称负离子，而失掉电子的原子或分子称正离子。从带电的角度讲，人们把电子、负离子和正离子统称带电粒子或载流子，也称电荷。在一般情况下，电荷都是做无规则运动。

电荷有规则的运动就称电流。在金属导体中，电流是自由电子在外电场作用下有规则地运动形成的。在某些液体或气体中，电流则是正负离子在外电场作用下有规则运动形成的。

电流的大小取决于在一定时间内通过导体横截面的电荷量多少。在相同的时间内通过导体横截面的电荷量越多，就表示流过该导体的电流越强，反之越弱。电流的强弱用电流强度来衡量，通常规定：

一秒内通过导体横截面的电量称做电流强度，以字母 I 表示。

若在 t 秒内通过导体横截面的电量是 Q 库仑，则电流强度 I 就可用下式表示：

$$I = \frac{Q}{t} \tag{1.1}$$

如果在1秒内通过导体横截面的电量是1库仑，则导体中的电流强度就是1安培^①，即

$$1 \text{ 安培} = \frac{1 \text{ 库仑}}{1 \text{ 秒}}$$

安培简称安，以字母 A 表示，除安培外，常用的电流强度单位还有千安（ kA ）、毫安（ mA ）和微安（ μA ）

$$1 \text{ 千安} (kA) = 10^3 \text{ 安} (A)$$

$$1 \text{ 毫安} (mA) = 10^{-3} \text{ 安} (A)$$

$$1 \text{ 微安} (\mu A) = 10^{-3} \text{ 毫安} (mA) = 10^{-6} \text{ 安} (A)$$

为方便，人们常把电流强度简称为电流。这样电流这一名词不但表示一种物理现象，而且也代表一个物理量。

电流不但有大小，而且有方向。习惯上规定以正电荷移动的方向为电流的方向。在金属导体中，虽然电流实际上是自由电子定向移动形成的，但其效果和等量的正电荷反向流动完全相同，因此电流方向与电子流方向相反。

在分析电路时，常常要求出电流的方向。但有时对某段电路中电流的实际方向往往难以立刻判断出来，此时可先假定电流的参考方向（即正方向），然后列方程求解，当解出的电流为正值时，就认为电流方向与参考方向一致，见图1.2a。反之，当电流为负值时，就认为电流方向与参考方向相反，见图1.2b。

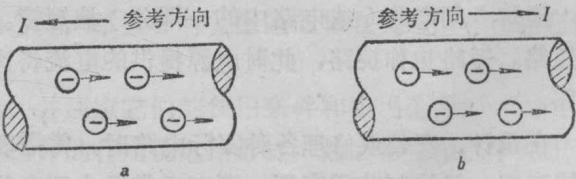


图1.2 电流的正负

在生产和生活中，常把电流分为两大类：直流电与交流电。凡方向不随时间变化的电流都称直流电流，而大小和方向都不随时间

①一九六〇年十月第十一届国际计量大会决定采用“绝对安”为电学量的基本单位，并作为国际单位制(SI)中七个基本单位之一；在两条相互平行、无限长的细导线中，通以强度相同的稳恒电流，如果这两条导线处于真空中，相距1米，而每米长度所受的力为 2×10^{-7} 牛顿时，则导线中电流强度规定为1绝对安。

变化的电流称稳恒直流电流；凡大小和方向都随时间变化的电流称交流或交变电流。本章只讨论稳恒直流，其它电流将在第二章讨论。

(2) 电压 电压是衡量电场做功本领大小的物理量。在电路中若电场力将电荷 Q 从 a 点移到 b 点，所做的功为 W_{ab} ，则功 W_{ab} 与电量 Q 的比值就称为该两点间的电压，用符号 U_{ab} 表示。其数学式为：

$$U_{ab} = \frac{W_{ab}}{Q} \tag{1.2}$$

若电场力将1库仑的电荷从 a 移到 b ，所做的功是1焦耳，则 ab 间的电压值就是1伏特，即

$$1 \text{ 伏特} = \frac{1 \text{ 焦耳}}{1 \text{ 库仑}}$$

伏特简称伏，用字母 V 表示。除伏特外常用的电压单位还有千伏(kV)、毫伏(mV)和微伏(μV)。

$$1 \text{ 千伏}(kV) = 10^3 \text{ 伏}(V)$$

$$1 \text{ 毫伏}(mV) = 10^{-3} \text{ 伏}(V)$$

$$1 \text{ 微伏}(\mu V) = 10^{-3} \text{ 毫伏}(mV) = 10^{-6} \text{ 伏}(V)$$

电压和电流一样，是代数量，不但有大小，而且有方向，即有正负。对于负载来说，规定电流流进端为电压的正端，电流流出端为电压的负端。电压的方向由正指向负。也就是负载中电压的实际方向与电流方向一致，如图1.3中的 U_{ab} 为正， U_{ba} 为负，即 $U_{ab} = -U_{ba}$ 。在电路图中，常以带箭头的细实线表示电压的方向。若遇到电路中某两点间的电压方向不能确定时，也可先假定电压的参考方向，再根据计算所得数值的正负，来确定其实际方向，方法与电流相同。

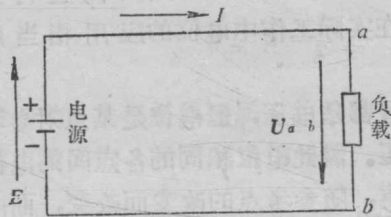


图1.3 电压与电动势的方向

显然，对于负载来说，没有电流就没有电压，有电

压就一定有电流。电阻两端的电压常叫电压降。

(3) 电动势 电动势是衡量电源将非电能转换成电能本领的物理量。电动势的定义是：在电源内部，外力将单位正电荷从电源的负极移到电源正极所做的功，以字母 E 表示。若外力将电荷 Q 从负极移到正极所做的功是 W_E ，则电动势的数学式为

$$E = \frac{W_E}{Q} \tag{1.3}$$

电动势的单位和电压相同，也是伏特。

电动势的方向规定为在电源内部由低电位端指向高电位端，即由电源的负极指向正极。在电路中，也用带箭头的细实线表示电动势的正方向。

对于一个电源来说，既有电动势又有电压，但电动势只存在于电源内部，而电压既可存在于电源内部（因为电流流进电源内部时也有压降），也存在于电源外部。电源两端的开路电压（即电源两端不接负载时的电压）等于电源电动势，但二者方向相反。电源两端的电压方向规定为，从电源正极指向负极。如图1.3所示。

(4) 电位和电位差 在实际工作中，有时我们需要比较某两点的电性能，常需引入电位

的概念。电路中某点与参考点间的电压就称该点的电位。通常把参考点的电位规定为零电位。电位的符号常用带脚标的字母 V 表示，如 V_A 表示 A 点的电位。电位的单位仍然是伏特。

通常选大地为参考点，即把大地的电位规定为零电位，而在电子仪器和设备中又常把金属机壳或电路的公共接点的电位规定为零电位。零电位的符号是 $\equiv$ （表示接大地）、 $\perp$ 或 --- （表示电路的公共接点或设备的金属外壳接地）。所以，今后在电路中凡见到上述符号，就应认定该点的电位是零电位。

选大地为零电位是考虑到它的方便性、统一性和稳定性。即①大家都在地球上生活、科研、生产，大家都可在自己所在地方接地，非常方便；②地球是个导体，静电平衡时是个等位体，标准统一；③地球的容量很大，带电量有起伏时电位不变，标准稳定。

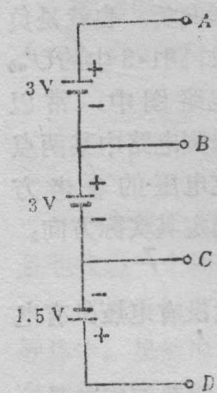
在工作中经常还要用到电位差的概念。电路中任意两点间的电位之差，就称做该两点的电位差，常用带双脚标的字母 U 表示，如 U_{AB} 表示 A 、 B 两点之间的电位差，即

$$U_{AB}=V_A-V_B$$

(1 · 4)

由于电位是电压，则电位差也就是电压，其单位自然也是伏特。

既然电路已有电压这个物理量，为什么还要引入电位这个物理量呢？这是因为引入电位有两个好处：①方便测量。例如，为比较相距较远的两点间的电性质，不便直接测量它们间的电压，但可通过它们各自与公共参考点间的电压来比较。②减少测量次数。例如测量某电路 A 、 B 、 C 、 D 四点中每两点间的电压，共需测六次（ U_{AB} 、 U_{AC} 、 U_{AD} 、 U_{BC} 、 U_{BD} 、 U_{CD} ）。但若选四点中的某点（如 D 点）为参考点后，则只需进行三次电位测量就能知道全部电压。所以在实际工作中电位的应用相当广泛。



电位和电位差的异同点是：①两者都是电压，但电位是某点对参考点的电压，电位差是某两点间的电压。因此电位相同的各点间的电位差为零。电流也为零；②电位是相对值，随参考点的改变而改变，而电位差的绝对值不随参考点的改变而改变。这可根据图 1·4 列出的表 1·1 看出；③因为 $U_{AB}=V_A-V_B=-\left(V_B-V_A\right)=-U_{BA}$ ，所以当 $U_{AB}>0$ 时， A 点电位高于 B 点电位；反之，当 $U_{AB}<0$ 时， A 点电位低于 B 点电位。

图1·4 电位与电位差

表1·1

图1·4中的部份电位与电位差

数值 接地点	电位或 电位差							
		V_A (伏)	V_B (伏)	V_C (伏)	V_D (伏)	U_{AB} (伏)	U_{AC} (伏)	U_{AD} (伏)
A		0	- 3	- 6	- 4.5	3	6	4.5
B		3	0	- 3	- 1.5	3	6	4.5
C		6	3	0	1.5	3	6	4.5
D		4.5	1.5	- 1.5	0	3	6	4.5

例1·1 如图 1·5 所示，已知 $V_C=80$ 伏， $U_{DE}=30$ 伏， $U_{EB}=20$ 伏，求 U_{CD} 及 V_A 各等于多少？

解：因E点接地，即 $V_E = 0$ 伏

则 $V_D = U_{DE} = 30$ 伏

$$U_{CD} = V_C - V_D = 80 - 30 = 50 \text{ 伏}$$

又 $U_{BE} = -U_{EB} = -20$ 伏

$$\begin{aligned} \text{则 } V_A &= U_{AE} = U_{AB} + U_{BE} = 0 + (-20) \\ &= -20 \text{ 伏} \end{aligned}$$

3. 电阻

一般地说，导体对电流的阻碍作用就称为

电阻，用字母 R 或 r 表示。其单位是欧姆，简称欧。欧姆的符号是 Ω 。

如果导体两端的电压为1伏，通过的电流是1安，则该导体的电阻就是1欧，即

$$1 \text{ 欧} = \frac{1 \text{ 伏}}{1 \text{ 安}}$$

除欧外，常用的电阻单位有千欧($k\Omega$)和兆欧($M\Omega$)。

$$1 \text{ 千欧} (k\Omega) = 10^3 \text{ 欧} (\Omega)$$

$$1 \text{ 兆欧} (M\Omega) = 10^3 \text{ 千欧} (k\Omega) = 10^6 \text{ 欧} (\Omega)$$

值得注意的是，导体的电阻是客观存在的，它不随导体两端电压的大小变化。即便没有电压，导体仍然有电阻。实验证明，导体的电阻跟导体的长度成正比，跟导体的横截面积成反比，并与导体的材料性质有关。对于长度为 l 、截面为 S 的导体，其电阻可用下式表示：

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1.5)$$

式中的 ρ 是与材料性质有关的物理量，称做电阻率或电阻系数，电阻率的大小等于长度为1米、截面为1平方毫米的导体，在一定温度下的电阻值，其单位是：

$$\rho = \frac{RS}{l} = \frac{\text{欧} \cdot \text{毫米}^2}{\text{米}} = \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$$

表1·2列出了几种材料在20℃时的电阻率。

表1·2

几种材料在20°时的电阻率

纯 金 属	银	0.016
	铜	0.017
	铝	0.029
	钨	0.053
	铁	0.1
合 金	锰铜(85%铜、12%锰、3%镍)	0.44
	康铜(54%铜、46%镍)	0.50
	铅铬铁电阻丝	1.2

半 导 体	硒、锗、硅等	$10^2 \sim 10^{13}$
绝 缘 体	赛璐璐	10^{14}
	电木、塑料	$10^{16} \sim 10^{20}$
	橡胶	$10^{19} \sim 10^{22}$

由表 1·2 看出，纯金属的电阻率很小，绝缘体的电阻率很大；银的导电性能最好。由于银的价格昂贵，用它做导线太不经济，因此目前多用铜和铝来做导线。又因铝矿丰富、价格便宜，所以在很多场合下常用铝代铜做导线。

例 1·2 用康铜丝来绕制 10 欧的电阻，问需要几米直径为 1 毫米的康铜丝？

解：由式 (1·5) 得

$$l = \frac{RS}{\rho}, \text{ 而 } S = \frac{\pi d^2}{4}, \text{ 康铜的 } \rho = 0.5$$

则需康铜丝的长度为

$$l = \frac{10}{0.5} \times \frac{3.14 \times 1^2}{4} = 15.7 \text{ 米}$$

实验还证明，导体的电阻与温度有关。通常，金属的电阻都是随温度的升高而增大。如民用 220 伏 40 瓦白炽灯不发光时，其灯丝电阻约为 100 欧，而正常发光时的灯丝电阻却高达 1210 欧。半导体和电解液的电阻，通常都是随温度升高而减小。所以在电镀业中常用加热的方法来减小电镀液的电阻。在电子工业中常用半导体制造能够灵敏地反映温度变化的热敏电阻。

除热敏电阻外，利用导体的电阻可制成各种用途、不同阻值和不同形状的电阻器。

常用绝缘材料、电阻器的型号及外型，分别见附录 1、附录 2 和附录 3。

4. 部分电路欧姆定律

部分电路欧姆定律，是德国科学家欧姆 (1787~1854) 在研究了不包含电源的一段电路中的电流，与这段电路两端的电压及电阻三者的关系后，首先于 1827 年得出的实验定律。如图 1·6 所示，部分电路欧姆定律的内容是：流过导体的电流与这段导体两端的电压成正比，与这段导体的电阻成反比，其数学式为：

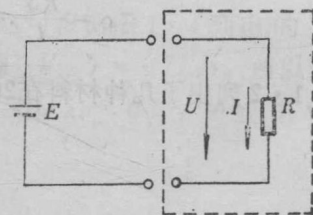


图 1·6 部分电路

$$I = \frac{U}{R} \quad (1.6)$$

式中：I——导体中的电流 (安)；

U——导体两端的电压 (伏)；

R——导体的电阻 (欧)。

在已知电流、电压和电阻中任意两个量的数值时，利用式 (1·6) 就可求出第三个量的数值。

例 1·3 已知某白炽灯的额定电压是 220 伏，正常发光时的电阻为 1210 欧，试求流过灯

丝的电流。

解：根据式(1.6)可求得流过灯丝的电流为

$$I = \frac{U}{R} = \frac{220}{1210} \approx 0.18 \text{ 安}$$

例1.4 已知某电炉接在220伏电源上，正常工作时流过电阻丝的电流为5安，试求此时电阻丝的电阻。

解：因 $I = \frac{U}{R}$

$$\text{则 } R = \frac{U}{I} = \frac{220}{5} = 44 \text{ 欧}$$

5. 全电路欧姆定律

全电路是含有电源的闭合电路，如图1.7所示。虚线框中的 E 代表电源电动势， r 代表电源内阻。通常把电源内部的电路称做内电路，电源外部的电路称做外电路。

全电路欧姆定律的内容是：全电路中的电流强度与电源的电动势成正比，与整个电路（即内电路和外电路）的电阻成反比。其数学式为

$$I = \frac{E}{R + r} \quad (1.7)$$

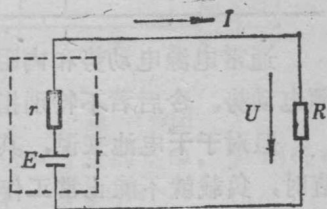


图1.7 最简单的全电路

式中： I ——电路中的电流（安）；

E ——电源电动势（伏）；

R ——外电路电阻（欧）；

r ——内电路电阻（欧）。

由式(1.7)可得

$$E = IR + Ir = U_{\text{外}} + U_{\text{内}} \quad (1.8)$$

式中 $U_{\text{内}}$ 是内电路电压， $U_{\text{外}}$ 是外电路电压。外电路电压是指电路接通时电源两端的电压，又称路端电压，简称端电压。这样，全电路欧姆定律又可叙述为：电源电动势在数值上等于闭合电路中各部分的电压之和。

根据全电路欧姆定律就可以研究全电路中电压与电流的变化规律。

(1) 电路处于通路状态时，由式(1.8)可得端电压与电流的关系式

$$U_{\text{外}} = E - Ir \quad (1.9)$$

根据式(1.9)可作出图1.8所示的电源外特性曲线。

由图可知，电源的外特性曲线是一条向下倾斜的直线，随着 I 的增大， $U_{\text{外}}$ 由 E 沿直线下降，电源内阻越大， $U_{\text{外}}$ 下降越多。当电源内阻为零时，其外特性为一平行横轴的直线（见图中虚线）。通常直流负载都需要恒定电压供电，所以总希望电源内阻越小越好。

(2) 电路处于断路状态时，相当于 $R \rightarrow \infty$ ，则电路电流 $I = 0$ ， $U_{\text{内}} = 0$ ， $U_{\text{外}} = E$ ，即电源的开路电压等于电源的电动势。

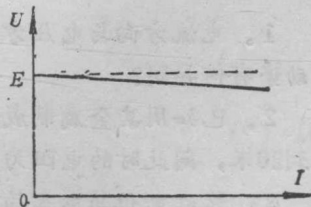


图1.8 电源的外特性曲线

(3) 电路处于短路状态时, 相当于 $R \rightarrow 0$, 此时的电路电流叫短路电流, $I_{\text{短}} = \frac{E}{r}$ 。由于 r 一般都很小, 所以 $I_{\text{短}}$ 很大; 短路时 $U_{\text{外}} = 0$, $U_{\text{内}} = E$ 。

以上各量关系见表 1·3。

表1·3

电路的三种状态

电 路 状 态	负 载 电 阻	电 路 电 流	外 电 路 电 压
通 路	$R = \text{常数}$	$I = \frac{E}{R+r}$	$U_{\text{外}} = E - U_{\text{内}} = IR$
断 路	$R \rightarrow \infty$	$I = 0$	$U_{\text{外}} = E$
短 路	$R \rightarrow 0$	$I = \frac{E}{r}$	$U_{\text{外}} = 0$

通常电源电动势和内阻都基本不变, 且 r 很小, 所以可近似认为电源的端电压就等于电源电动势。今后若不特别指出电源内阻时, 就表示电源内阻很小, 可以忽略不计。

但对于电池来说, 其内阻往往是随着放电时间的增加而增大。当电池内阻增大到一定值时, 负载就不能正常工作。如旧电池开路时两端的电压并不低, 但不能使晶体管收音机正常发声, 就是因为电池内阻增大的缘故。

例1·5 如图 1·9 所示, 不计电压表和电流表的内阻对电路的影响, 求开关 K 在不同位置时, 电压表和电流表的读数各为多少?

解: (1) 开关接 1 时, 电路处于短路状态, 所以电压表的读数为 0 伏; 电流表中流过短路电流 $I_{\text{短}} = E/r = 2/0.2 = 10$ 安。

(2) 开关接 2 时, 电路处于断路状态, 所以电压表的读数等于电源电动势, 即 2 伏; 电流表中无电流流过, 即 $I_{\text{断}} = 0$ 安。

(3) 开关接 3 时, 电路处于通路状态, 电流表的读数为 $I = E/(R+r) = 2/(0.2+9.8) = 0.2$ 安; 电压表的读数为 $U = IR = 0.2 \times 9.8 = 1.96$ 伏。

电压表的读数也可用公式 $U = E - Ir$ 计算, 即 $U = E - Ir = 2 - 0.2 \times 0.2 = 1.96$ 伏。

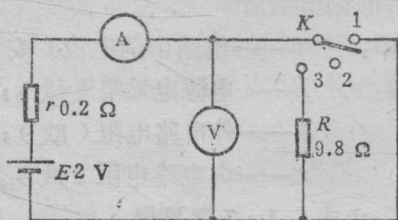


图1·9 例1·5图

习 题 一

1. 电流方向与电压方向有何关系? 电流方向与电动势方向有何关系? 电源电压与电源电动势有何异同?

2. 已知用某金属制成的圆形均匀导线的长度为 10 米, 电阻为 1 欧, 现将该导线均匀拉长到 20 米, 问此时的电阻为多少?

3. 试述电位与电压的异同点。

4. 如题 1·1 图所示, 已知 $U_{BO} = 10$ 伏, $E_1 = 40$ 伏, $E_2 = 30$ 伏, 求 A 、 B 、 C 、 D 四点的电位各等于多少?