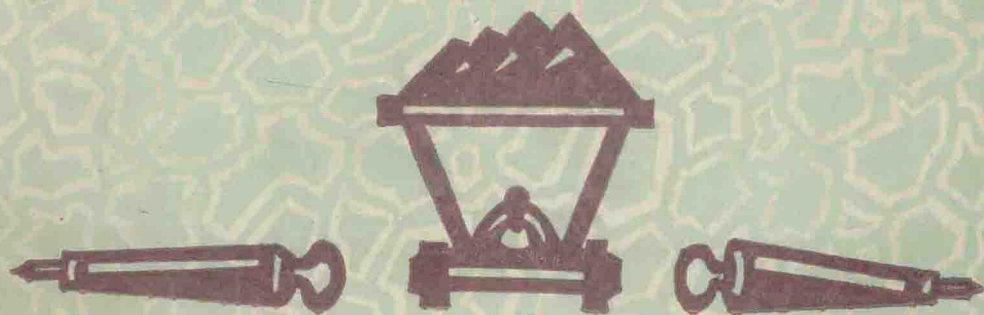


职业技术教育煤炭专业教材

煤矿电工

孙国钦 张兰阁 编
解望龙 王洪俭



山西人民出版社

职业技术教育煤炭专业教材

煤 矿 电 工

孙国钦 张兰阁
解望龙 王洪俭 编

山西人民出版社

出版说明

为了满足各地职业高中、中等专业学校以及职工培训等中等职业技术教育层次的教学单位对煤炭专业教学工作的需要，在我委编写的职业高中煤炭专业教学计划和教学大纲的基础上，组织编写了这套教材。山西省煤炭工业学校承担了这项任务。

这套中等职业技术教育煤炭专业教材包括《煤矿地质》、《煤矿测量》、《煤矿电工》、《煤矿机械》、《井巷工程》、《煤矿开采方法》、《煤矿通风与安全技术》、《煤炭工业企业管理》和《煤炭加工》九本书。编写时充分考虑了中等职业技术教育知识面要宽、动手能力要强的特点，广泛收集了各中等职业技术教育办学单位的教学经验。定稿时聘请有关专家、教授进行了审定。经修改后定稿。

各学校在使用本教材时，可按照已颁发的教学计划、教学大纲安排教学，也可结合本地的实际需要与学校教学进度选用其中部分内容。本套教材《煤炭加工》一书是在这套书的教学大纲颁发后，根据各地的要求增加的，各校在使用时可适当减少或压缩其它课时，参照教材内容，自订这本教材的教学大纲。

本教材为试用教材，各地、各校在试用中应注意总结经验，并及时提出修改意见，以便进一步修订。

山西省教育委员会

一九八九年七月

煤 矿 电 工

孙国钦 主编

山西人民出版社 (太原并州北路十一号)

山西人民出版社发行 太原千峰科技印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 18.5 字数: 441千字

1989年9月第1版 1989年9月太原第1次印刷

印数: 1—6000册

ISBN 7-203-01453-3

G. 690 定价: 6.60元

前 言

《煤矿电工》是根据北方十省（市、自治区）职业教育协作组1985年5月审定的煤炭专业《煤矿电工教学大纲》编写的。

本书共分五章，主要内容有直流电路、交流电路、电子技术基础、电动机及其控制、煤矿供电与安全等。

本书内容深入浅出，通俗易懂，对涉及到的计算公式未作过多的数学指导，而以叙述物理概念为主，重点放在应用上。书中还列举了较多的例题，并在每章末附有实验和适量的习题，便于读者学习。

本书将电磁和电工测量的内容分散安排在各有关章节中，把电动机与拖动控制放在一起，把变压器与供电放在一起。不但配合紧密，而且可以避免一些不必要的重复。

本书第一、二、三章由山西省煤炭工业学校孙国钦、张兰阁执笔，第四章由解望龙执笔，第五章由王洪俭执笔，全书由孙国钦定稿。

本书由大同煤炭工业学校高级讲师李望、徐淑霞审阅，并提出了宝贵的意见，我们在此表示真诚的感谢。

由于编写时间仓促，加之编者水平有限，书中存在的不足或不妥之处，敬请广大读者批评指正。

编者 一九八九年五月

绪 论

《煤矿电工》是研究电路基本规律，电子技术及电能_{在煤矿中应用}的专业课程。

目前，电能是煤矿中应用最广的能量形式。我国煤矿所使用的采煤、运输、提升、通风、压气、排水等生产机械大都是用电力拖动的。具有良好技术经济指标的各级供电线路已经深入到煤矿负荷中心，并通过各种新型的配电装置和完善的保护设备使供电更加安全可靠；具有良好技术性能的煤矿专用电机及其控制正在逐步实现半自动化和自动化；电子技术在煤矿信号、通讯、遥控、遥测中的作用也越来越大。因此，随着采煤机械化、自动化程度的不断提高，电工技术在煤矿现代化建设中的地位愈加显得重要。

《煤矿电工》课程的主要任务是使学生掌握电工技术的基本理论，基本知识以及分析、计算、实验的基本技能；了解煤矿常用电气设备的类型、用途、结构及工作原理；掌握一定的电工操作、维修和安全用电及管理方面的常识。为从事煤炭生产的技术和管理工作打下必要的基础。

《煤矿电工》是一门理论性、综合性及实用性都很强的课程，在学习过程中，要着重理解基本概念，掌握基本的分析方法，并注意加强基本技能的训练。

学习《煤矿电工》，要提倡刻苦钻研的学风和科学的学习方法。除了专心听讲、认真复习、独立完成作业之外，还应细心观察课堂上教师的各种演示，并认真做好规定的实验，熟悉各种电工仪表和设备的性能，学会使用这些仪表和设备的技能和技巧。

在现场实习期间，要注意理论联系实际，增强自己的观察能力、思维能力和动手能力。

在学习《煤矿电工》课程的过程中，只要充分掌握上述要领，勤奋努力，就一定会收到良好的学习效果。

目 录

第一章 直流电路	(1)
第一节 电路	(1)
第二节 电路中的基本物理量	(2)
第三节 导体中的电阻及其特性	(4)
第四节 欧姆定律	(6)
第五节 电位的概念及应用	(8)
第六节 电功率、电能及设备的额定值	(10)
第七节 简单电路的计算	(13)
第八节 基尔霍夫定律	(18)
第九节 复杂电路的计算	(20)
第十节 磁电式仪表与直流电量的测量	(24)
实验一 直流电路的研究	(28)
习题一	(31)
第二章 正弦交流电路	(33)
第一节 电磁基本知识	(33)
第二节 正弦交流电的产生及表示方法	(40)
第三节 单相交流电路	(47)
第四节 三相交流电路	(63)
第五节 交流电压和电流的测量	(71)
第六节 电功率的测量	(72)
实验二 日光灯电路的接线与测试	(76)
实验三 三相负载的联接	(77)
习题二	(79)
第三章 电子技术基础	(82)
第一节 半导体的基本知识	(82)
第二节 晶体二极管	(86)
第三节 晶体三极管	(89)
第四节 单管低频小信号电压放大器	(96)

第五节	多级放大器	(109)
第六节	功率放大器	(114)
第七节	直流稳压电源	(121)
* 第八节	晶体管正弦波振荡器	(132)
* 第九节	可控硅整流电路	(136)
第十节	常用电子仪器及其使用方法	(144)
实验四	单相桥式整流电路的接线与观测	(146)
实验五	单管交流电压放大器的焊接与调试	(148)
习题三		(150)

第四章 电动机及其控制 (153)

第一节	铁磁材料	(153)
* 第二节	直流电动机	(157)
第三节	三相异步电动机	(166)
第四节	同步电动机	(194)
第五节	电动机的检查及常见故障	(197)
第六节	采、掘、运机械的电气控制	(196)
实验六	三相异步电动机的起动	(222)
实验七	用继电器-接触器进行电动机的正、反转控制	(223)
实验八	磁力起动器的控制和接线练习	(225)
习题四		(227)

第五章 煤矿供电与安全 (228)

第一节	煤矿供电系统	(228)
第二节	变压器基础知识	(231)
第三节	矿用变压器	(234)
第四节	矿用高压配电箱	(243)
第五节	矿用低压隔爆开关	(247)
第六节	矿用电缆	(250)
第七节	矿用电气设备的维护与检修	(255)
* 第八节	采区供电设备的选择	(258)
第九节	触电的危险与防救	(266)
第十节	保护接地	(270)
第十一节	漏电保护装置	(272)
第十二节	煤电钻综合保护装置	(275)
第十三节	用电管理基本原则与措施	(279)
实验九	观察高、低压隔爆开关的结构及动作情况	(282)
实验十	观察检漏继电器的保护性能	(285)
习题五		(289)

第一章 直流电路

第一节 电 路

一、电路的组成

图1—1是一个最简单的电路。它是由电源、负载、连接导线和开关四部分所组成的。当开关接通时，电路内就有电流通过，灯泡就会发光。

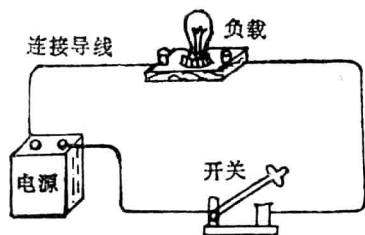


图1—1 简单电路

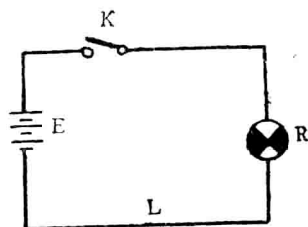


图1—2 电路图

蓄电池是这个电路的电源，它是把化学能转换为电能的装置。工业上常用的交、直流发电机是把机械能转换为电能的装置。电源是一种将其他形式的能量（机械能、热能、光能、原子能等）转换为电能的设备。

灯泡是这个电路的负载，它是电路中消耗电能的设备。如电炉、电动机、扬声器等都是负载。

导线和开关是电源与负载之间必不可少的连接和控制部分，它是实现电能传输的主要部件。

除上述四部分外，电路中还有安全保护装置及各种检测仪表等。不管电路的结构怎样复杂，它们的基本组成部分都是相同的。

二、电路图

电路中的电源和负载种类较多，为了突出其本质，可将具体电工设备加以精炼和概括，用一些规定的电工符号表示，用这些电

表1—1 电 工 符 号

元 件 名 称	符 号
蓄 电 池	
直流发电机	
电 灯 泡	
电 阻	
电 感	
电 容 器	
开 关	

工符号能表示出各电工设备之间的连接关系。这种接线图被称为电路图，图1—2就是对应于图1—1的电路图。电路中常用的电工符号见表1—1。

第二节 电路中的基本物理量

一、电流

当合上电源开关时，电灯就会发光，电炉就会发热，电动机就会转动。这是因为电灯、电炉、电动机的导线内有电流通过的缘故。在电路中能量的传输和转换是依靠电流的流动来实现的。什么叫做电流呢？它的大小如何计算呢？

在电路中电荷的定向运动就叫做电流。如图1—3所示，金属导体中的自由电子在电场力的作用下向电场强度反方向移动，形成电流。长期以来，人们习惯规定以正电荷运动的方向作为电流的正方向。但自由电子带负电荷，所以它的运动方向与规定的正方向相反。

为了便于分析和计算电路，常常任意假定一个电流的正方向。若电流的实际方向与原假定的正方向相同，则取正值；反之取负值。因此，电路计算中电流值的正与负是针对任意选定的正方向而言的，离开所假定正方向而谈电流的正负是没有意义的。

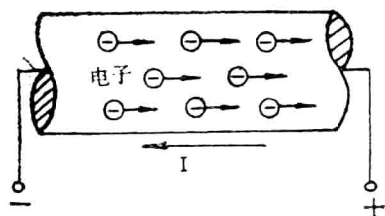


图1—3 电流示意图

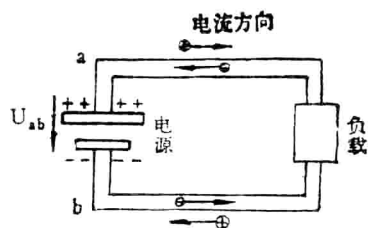


图1—4 电压及其形成

电流的大小常以单位时间内通过导体某一横截面的电荷量的多少来衡量，它叫做电流强度。直流电流的大小和方向不随时间而变化，常用符号“ I ”表示。其计算公式如下：

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

式中 Q ——电荷量 C ；

t ——时间 s ；

I ——电流 A 。

在国际单位制中，电流的基本单位是安培，计量大电流时常用于安（ kA ）；计量小电流时常用于毫安（ mA ）、微安（ μA ）。它们的换算关系是：

$$1kA = 10^3 A$$

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

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

二、电 压

在图1—4中，a和b是电池的两个电极。a是正极，带有正电荷；b是负极，带有负电荷。这些电荷在空间产生电场，在电场力的作用下正电荷便从电极a通过导体移到了电极b（实际上是负电荷在电场力作用下由电极b移到电极a，两者是等效的），移动过程中，电场力对电荷做了功。为定量地反映这种电场力做功能力的大小，我们引用了电压这一概念。所以电压是衡量电场力作功本领大小的物理量。

a、b两点间的电压，用符号 U_{ab} 表示。其计算公式如下：

$$U_{ab} = \frac{A_{ab}}{Q} \quad (1-2)$$

式中 A_{ab} ——电场力所作的功 J；

Q ——移动的电荷量 C；

U_{ab} ——电压 V。

在电路中任意两点间的电压，表明了电场力在该两点间对单位正电荷做功的本领。但应该注意：任意两点间的电压只与这两点（起点和终点）的位置有关，而与电荷移动的路径无关。

习惯上规定正电荷移动的方向为电压的正方向。

在实际运算中，为了计算方便，与电流一样，也任选一个参考方向为电压的正方向。一般用下标字母的顺序表示正方向。如 U_{ab} 表示正方向从a指向b。选定正方向后，若电压的实际方向与假定正方向相同时为正值，相反时为负值。

在国际单位制中，电压的基本单位是伏特（V），但计量高电压时，常用千伏（kV）为单位；计量较低电压时，则用毫伏（mV）或微伏（ μV ）为单位。它们之间的换算关系是：

$$1\text{kV} = 10^3\text{V}$$

$$1\text{mV} = 10^{-3}\text{V}$$

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

三、电动势

从分析电压的概念中我们知道，在电场力的作用下电荷会从正极向负极移动。如果只有电场力对电荷作用，那么正电荷移动的结果，势必改变电荷的分布情况。随着时间的推移，

正、负极上的电荷只会越来越少（因正负电荷中和），它所产生的电场也就越来越弱，最后等于零，于是导线中的电流也只能是短暂的、不能持续的流动。

为了要维持导线中的电流持续不断地流动，必须有一种外力源源不断地再把正电荷从负极搬移到正极，这种搬运工作正是由电源装置来实现的。电源内部就存在着这种外力，如在电池中，电极和电解液进行化学反应时，就会产生使正电荷从负极向正极移动的外力，这种

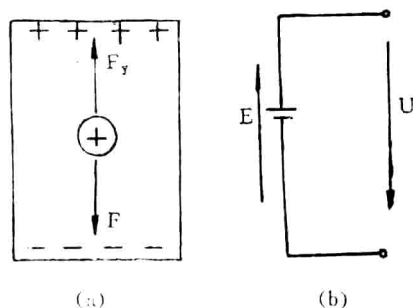


图 1—5 电动势示意图及正方向

外力也叫做电源力 (F_y)，它和电场力 (F) 方向总是相反的，如图1—5(a)所示。

当电源不接负载时 (即开路状态)，电源力等于电场力，正、负极上的电荷保持不变，电源的两极间形成了稳定的电场。当电源接上负载时 (即闭路状态)，正电荷在电场力的推动下，通过导线开始移动，电路中就有电流流过。随着电荷的移动，两极板上正、负电荷减少，于是，电场力小于电源力。此时由于电源力大，所以又开始分离和搬移电荷，使两极板上正、负电荷增多，电场力也随之增大。在电源中，因为搬移电荷的工作不会停止，所以整个电路处于动态平衡下工作。

为了定量地反映电源力分离电荷做功的能力，我们引用了电动势这一概念。电源的电动势，其大小等于电源力将单位正电荷从电源的负极经电源的内部移动到电源的正极所做的功。它是衡量电源力做功本领大小的物理量。其计算公式如下：

$$E = \frac{A_y}{Q} \quad (1-3)$$

式中 Q ——电荷量 C ；

A_y ——电源力所做的功 J ；

E ——电动势 V 。

电动势的正方向规定为电源力推动正电荷运动的方向，即电源内部由负极到正极的方向，它与电压的正方向恰好相反，如图1—5(b)所示。

如同电流、电压一样，在选定电动势的正方向之后，电动势值可为正，也可为负，所以它也是一个代数量。

但应指出，在直流电路中，电流、电压及电动势的正方向通常选得与实际方向一致，除在分路与计算电路中不能确定实际方向的情况下，才任意选定正方向。

第三节 导体的电阻及其特性

一、导体的电阻

金属导体中的自由电子在电场力的作用下会定向移动。那么在移动过程中，沿途要和导体中的原子或分子相碰撞，使自由电子的运动受到一定的阻力，导体对电流的阻力被称为电阻，用符号“ R ”或“ r ”表示。

电阻的单位是欧姆，简称欧，用符号“ Ω ”表示。当电阻值较大时，则常用千欧 ($k\Omega$) 或兆欧 ($M\Omega$) 作单位。它们的关系是：

$$1k\Omega = 10^3\Omega$$

$$1M\Omega = 10^6\Omega$$

多数金属材料的电阻值与通过它的电流大小无关，这样的电阻称为线性电阻。我们平常所说的电阻一般都是线性电阻。但是，还有另一类金属材料，当通过不同电流或加上不同电压时，就会显示出不同的电阻值，即电阻值随通过导体的电流大小而改变，这样的电阻被称为非线性电阻。

二、导体电阻的特性

1. 实验证明, 在一定的温度下, 导体电阻的大小与导体的长短、粗细及材料有关。当导体越长、越细、材料的导电性能越差时, 其电阻越大, 反之越小, 电阻的计算公式如下:

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (1-4)$$

式中: L ——导体长度 m ;

S ——导体横截面积 mm^2 ;

ρ ——导体的电阻率 $\Omega mm^2/m$;

R ——电阻 Ω 。

现将几种常用导体材料 (在 $20^\circ C$ 下) 的电阻率列于表 1—2 中。

表1—2 常用导体材料的电阻率

材料名称	电阻率 ρ ($20^\circ C$) $\Omega mm^2/m$	电阻温度系数 α ($0 \sim 100^\circ C$) $1/^\circ C$
铜	0.0175	0.004
铝	0.0285	0.0042
钨	0.0548	0.0052
钢	0.13	0.0057
康铜	0.44	0.000005
锰铜	0.42	0.000005

2. 通过实验还发现, 导体的电阻除了与尺寸、材料有关外, 还与导体的温度有关。一般金属材料的电阻值都随温度的增高而增大。表1—2中的电阻温度系数 α 就是指导体在温度每增高 $1^\circ C$ 时, 其电阻的相对增量。例如铜的电阻温度系数约为 $0.004/^\circ C$, 意思是说如果温度每增高 $1^\circ C$, 铜的电阻值增加 0.004 倍。这就表明, 当温度变化不大时, 金属材料的电阻值变化量是很小的。

那么怎样计算温度变化后的电阻呢? 当温度在 $0 \sim 100^\circ C$ 范围内时, 其计算方法推导如下: 设 R_1 是温度为 t_1 时的导体电阻, R_2 是温度 t_2 时的电阻, 材料的电阻温度系数为 α , 若当温度从 t_1 变化到 t_2 时, 其温度差为 $(t_2 - t_1)$ 。根据电阻温度系数的意义可知, $t_2 - t_1$ 电阻的变化量应为 $\alpha R_1 (t_2 - t_1)$, 再把这个电阻的变化量加到原来 t_1 时的电阻 R_1 上, 就是 t_2 时的电阻 R_2 。即:

$$\begin{aligned} R_2 &= R_1 + \alpha R_1 (t_2 - t_1) \\ &= R_1 [1 + \alpha (t_2 - t_1)] \end{aligned} \quad (1-5)$$

利用导线电阻值随温度而变化这一现象, 可以测量导体本身的温度。

例1—1 为了便于测量发电机在运行中电机内部的温度, 制造时其内部放置一个铂丝电阻元件, 根据此元件电阻值的变化可计算出温度的变化。如温度在 $20^\circ C$ 时测量元件的电阻值为 49.5Ω , 电机运行一段时间后测得元件的电阻值为 60.9Ω , 问此时发电机内部的温度是多少? (铂丝在 $20^\circ C$ 时, $\alpha = 0.00389/^\circ C$)

解: 依据 $R_2 = R_1 [1 + \alpha (t_2 - t_1)]$ 公式, 可导出 $t_2 = \frac{R_2 - R_1}{\alpha R_1} + t_1$

将已知 $R_1 = 49.5 \Omega$, $R_2 = 60.9 \Omega$, $t_1 = 20^\circ C$, $\alpha = 0.00389/^\circ C$ 代入上式得:

$$t_2 = \frac{60.9 - 49.5}{0.0038 \times 49.5} + 20 = 80 \quad (^\circ C)$$

答: 发电机此时内部的温度是 $80^\circ C$ 。

上述讨论都是针对导体电阻而言的。自然界的物质从导电性能来分，可分为三大类：导体、绝缘体和半导体。绝缘体的电阻率特别大，半导体的电阻率介于导体与绝缘体之间，绝缘体和半导体的电阻特性与导体电阻是有区别的。

第四节 欧姆定律

科学家欧姆，通过大量的实验和分析，最早确定了电路中电压、电流、电阻等物理量之间的相互关系——欧姆定律。

一、一段无源支路的欧姆定律

如图1—6所示，只有电阻而不包含电源的支路称为无源支路。在一段无源支路中，电压、电流及电阻之间有何关系呢？通过实验证明，流过支路电阻中的电流 I 与电阻两端的电压 U 成正比，与该支路电阻 R 成反比，这个比例关系叫做一段无源支路的欧姆定律。用公式表示如下：

$$I = \frac{U}{R} \quad (1-6)$$

式中 U ——电压 V ；

R ——电阻 Ω ；

I ——电流 A 。

无源支路的欧姆定律还可以写成另外两种表达形式：

$$U = IR$$

或

$$R = \frac{U}{I}$$

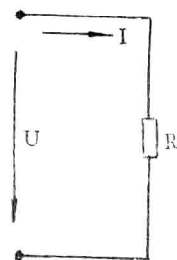


图1—6 一段无源支路

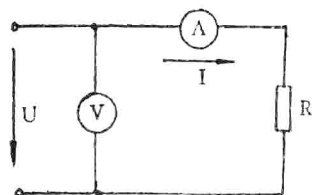


图1—7 无源支路欧姆定律的应用

应说明一点：上述公式只适合于电压 U 和电流 I 正方向是一致的情况。如果 U 与 I 假定正方向相反，则公式中应出现负号。下面举例说明欧姆定律的应用。

例1—2 如图1—7所示，在一个直流电机的激磁线圈上加一个直流电压 $U = 110V$ ，测得电流 $I = 0.5A$ ，问此线圈的电阻应是多少？

解：根据欧姆定律可得

$$R = \frac{U}{I} = \frac{110}{0.5} = 220 \quad (\Omega)$$

答：此线圈的电阻为 220Ω 。

例1—3 已知一个电热器在工作温度下的电阻是 44Ω ，流过它的电流是 $5A$ ，试求加在电热

器两端的电压是多少？

解：此题已知电流和电阻求电压。根据欧姆定律可得：

$$U = IR = 5 \times 44 = 220 \quad (\text{V})$$

答：加在电热器两端的电压为220V。

例1—4 有一个量程为300V（即满刻度为300V）的伏特表，它的内阻为40kΩ。用它测量电压时，流经伏特表的最大电流是多少？

解：由于伏特表的内阻是一个定值，所测得电压愈大，通过伏特表的电流也就愈大。因此，被测电压为300V时，流经伏特表的电流最大。

此题，电压 $U = 300\text{V}$ ，电阻 $R = 40\text{k}\Omega$ 为已知，求电流 I 。根据欧姆定律可得：

$$I = \frac{U}{R} = \frac{300}{40000} = 0.0075 \quad (\text{A}) = 7.5 \quad (\text{mA})$$

即测得300V电压时，通过伏特表的最大电流为7.5mA。

二、全电路的欧姆定律

图1—8(a)表示一个接有电源和负载 R 的闭合电路，称全电路。其中电源的电动势为 E ，内阻为 R_0 。它们之间的关系为：电路中的电流 I 与电源电动势 E 成正比，与负载电阻 R 及电源内阻 R_0 之和成反比。这个比例关系叫做全电路的欧姆定律，用公式表示如下：

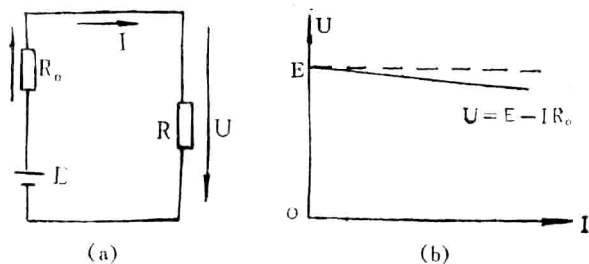


图1—8 全电路及其外特性曲线

$$I = \frac{E}{R_0 + R} \quad (1-7)$$

式中 E ——电源电动势 V ；

R_0 ——电源内阻 Ω ；

R ——负载电阻 Ω ；

I ——电路电流 A 。

式(1—7)还可以改写成如下形式：

$$\begin{aligned} E &= IR_0 + IR \\ &= U_0 + U \end{aligned}$$

或

$$U = E - U_0 \quad (1-8)$$

式(1—8)中 U 为电源两端的电压，称为端电压。当忽略连接导线上的电阻电压降时，电源

的端电压等于负载两端的电压。式中 U_0 表示电源内部电压降，它随电流大小而变化，电流越大，电源内部电压降越大。若电动势 E 为定值时， U_0 越大， U 越小。将式 $U=E-IR_0$ 用图象表示出来，叫做电源的外特性曲线，如图1—8(b)所示。

从图1—8(b)上可以看出，当 $I=0$ 时， $U=E$ ，此状态称为空载，也叫电源开路；当负载电阻 $R \rightarrow 0$ 时， $U_0=E$ ，而 $I=\frac{E}{R_0}$ ，由于内阻 R_0 很小，所以导致 I 很大，此状态称为短路。发生短路时有烧毁电源的危险。为了防止短路事故，常在电路中串联熔断器（保险丝）或自动断路器，用以保护电源。当电气设备按照铭牌上规定的电压、电流和功率的限额工作时，叫做额定工作状态。

例1—5 如图1—9所示，已知一台直流发电机向某一负载供电，发电机的电动势 $E=210\text{V}$ ，电路中的电流为 5A ，负载两端的电压为 200V （忽略连接导线上的电阻压降），试求发电机的内阻 r_0 、负载电阻 R 各为多少？

解：根据全电路欧姆定律可知：

$$I = \frac{E}{r_0 + R}$$

$$\therefore R + r_0 = \frac{E}{I} = \frac{210}{5} = 42 \quad (\Omega)$$

又根据一段无源支路的欧姆定律：

$$R = \frac{U}{I} = \frac{200}{5} = 40 \quad (\Omega)$$

$$\therefore \text{电源内阻 } r_0 = 42 - 40 = 2 \quad (\Omega)$$

答：电源内阻为 2Ω ，负载电阻为 40Ω 。

例1—6 已知一个直流电源的电动势 $E=110\text{V}$ ，电阻 $r_0=1\Omega$ ，当接上负载电阻 $R=10\Omega$ 时，试求电路中的电流及负载端电压各为多少？

解：依据全电路欧姆定律可得：

$$I = \frac{E}{r_0 + R} = \frac{110}{1 + 10} = \frac{110}{11} = 10 \quad (\text{A})$$

$$\text{负载端电压：} U = IR = 10 \times 10 = 100 \quad (\text{V})$$

答：该电路中的电流为 10A ，负载两端电压为 100V 。

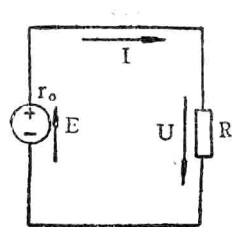


图1—9 全电路欧姆定律的应用

第五节 电位的概念及应用

在电子电路中，由于电路复杂，节点较多，用电压分析问题比较繁琐，而用电位分析问题就比较简单，所以有必要对电位的概念及计算加以说明。

一、电位的概念

如图1—10所示电路，有两个电阻，三个连接点。我们若选择c点为参考点（基准点），

那么a点至c点的电压就叫做a点的电位。它反映电场力将单位正电荷从a点移到参考点c所做的功，所以电位同样是反映电场力做功本领的物理量。电位一般用符号 φ 或V表示。参考点c的电位表示为 $\varphi_c=0V$ ，a点的电位表示为 φ_a ，根据电位的定义用公式表示如下：

$$\varphi_a = \frac{A_{ac}}{Q} = U_{ac}$$

式中 A_{ac} ——代表电场力所做的功 J；
 Q ——所移动的电荷量 C；
 φ_a ——a点的电位 V。

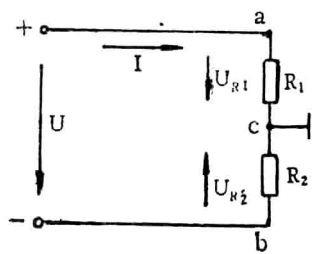


图1—10 电位的示意图

在一个电路中，参考点是允许任意选择的。参考点位置不同，各点的电位将发生变化。在图1—10电路中，若把参考点选在b点，则b点的电位为零伏，表示为 $\varphi_b=0V$ ，而a点的电位 $\varphi_a = U_{ab} = \frac{A_{ab}}{Q} V$ ，c点的电位就不是零伏了，而变成 $\varphi_c = U_{cb} = \frac{A_{cb}}{Q} V$ 。由此可见，在电路中各点的电位不是固定不变的，而是随着参考点的改变发生变化的。要确定某点的电位，必须首先选定一个参考点。在电工和电子电路中，常将公共连接点作为参考点，电气设备常以外壳为参考点。

电压与电位都是反映电场力做功的物理量，但电压是任意两点之间的电位差，它与参考点无关；而电位是指某点到参考点之间电场力做功的情况，电位大小与参考点位置有关。

二、电位的计算

例1—7 在图1—10电位示意图中，电源电压 $U_{ab}=10V$ ，负载电阻 $R_1=R_2=10\Omega$ 串接于电源两端。若选定c点为参考点，求a点、b点的电位各是多少？当参考点选在b点时，a点、c点电位又各是多少？

解：当c点为参考点时， $\varphi_c=0V$ ，

$$\varphi_a = U_{ac} = IR_1 = \frac{U_{ab}}{R_1 + R_2} R_1 = \frac{10}{10 + 10} \times 10 = 5 \quad (V)$$

$$\varphi_b = U_{bc} = -U_{cb} = -IR_2 = -\frac{10}{10 + 10} \times 10 = -5 \quad (V)$$

b点的电位为负5伏说明b点电位比参考点c电位低5V。

当选定b点为参考点时， $\varphi_b=0V$ ；

$$\varphi_a = U_{ab} = 10V$$

$$\varphi_c = U_{cb} = IR_2 = \frac{10}{10 + 10} \times 10 = 5 \quad (V)$$

答：若c点为参考点，a点为5V，b点为-5V；若b点为参考点，a点变为10V，点c变为5V。

例1—8 求在图1—11(a)所示电路中，当开关K断开和接通时，a点的电位。

解：将开关K断开时，电路可画成图1—11(b)所示，根据两电源的极性，设电流方向为逆时针方向，并求得电流为：

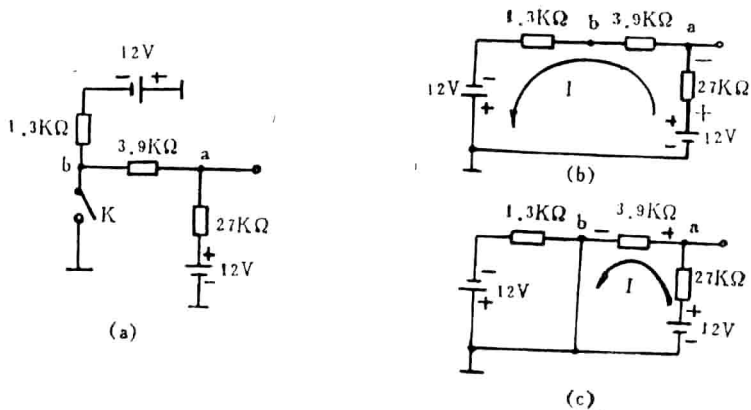


图1-11 电位计算例图

$$I = \frac{12 + 12}{27 + 3.9 + 1.3} = \frac{24}{32.2} (\text{mA}) = 0.745 \times 10^{-3} (\text{A})$$

$$\varphi_a = -0.745 \times 10^{-3} \times 27 \times 10^3 + 12 = -20.1 + 12 = -8.1 (\text{V})$$

当K接通时, 电路重画为图1-11 (c) 所示, 根据电源极性, 选定电流方向为逆时针方向, 求得电流为:

$$I = \frac{12}{27 + 3.9} = 0.388 (\text{mA})$$

$$\varphi_a = 0.388 \times 10^{-3} \times 3.9 \times 10^3 = 1.52 (\text{V})$$

即K断开时, a点的电位为-8.1V; K接通时, a点的电位为1.52V。

通过以上分析可以看出:

1. 在电路中, 每一点电位的高低都是相对的。当电路中参考点改变时, 每一点电位的高低也随之改变。
2. 参考点的选择是任意的, 但在一个电路里只能有一个参考点。
3. 不论参考点怎样选择, 电路里任意两点之间的电压值不会改变。即电压不随参考点而变化。
4. 当计算的电位值为“+”时, 说明该点电位比参考点电位高; 反之, 电位值为“-”时, 则说明该点电位比参考点低。

第六节 电功率、电能及设备的额定值

在电路中电源是产生电能的, 而负载是消耗电能的, 导线和开关是传输和控制电能的, 电能的产生和消耗遵循能量守恒和转换定律。本节主要讨论电功率和电能的计算方法, 并简单介绍电阻的发热问题及用电设备的效率。