



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

电工电子技术



主 编 赵承荻 周 玲



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS



教育部规划教材 “十一五” 国家重点图书出版项目

电工电子技术

主 编 王 明 副 编 王 明

机械工业出版社

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

电工电子技术

主 编 赵承荻 周 玲
主 审 姚和芳

高等教育出版社

内 容 简 介

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材。全书从培养应用型人才角度出发,介绍了有关电工及电子技术方面的基本知识、基本技能及应用。主要内容包括直流电路、交流电路、电磁与变压器、二极管及小功率直流电源、放大电路与振荡电路、数字电路、电源电路、常用电机、低压电器和电动机控制电路、电能转换技术及用电。全书理论分析及数学计算简明扼要,重在电工及电子技术的实际应用及基本技能的训练与培养。全书最后部分包含有 12 个课题的实验与实训内容,供各校选用。本书可作为高等职业院校机械、数控、冶金、轻工、化工、建筑等相关专业的教学用书,也可作为工业、企业经营、管理营销人员的教学培训用书及自学用书,亦可作为有关教学人员、技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术 / 赵承荻, 周玲编著. —北京: 高等教育出版社, 2007.6
ISBN 978-7-04-021416-1

I. 电… II. ①赵…②周… III. ①电工技术—高等学校—教材②电子技术—高等学校—教材 IV. TM TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 081331 号

策划编辑 孙鸣雷 责任编辑 李瑞芳 封面设计 吴 昊 责任印制 蔡敏燕

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-58581118
社 址	北京市西城区德外大街 4 号		021-56964871
邮政编码	100011	免费咨询	800-810-0598
总 机	010-58581000	网 址	http://www.hep.edu.cn
传 真	021-56965341		http://www.hep.com.cn
			http://www.hepsh.com
经 销	蓝色畅想图书发行有限公司	网上订购	http://www.landaco.com
排 版	南京理工出版信息技术有限公司		http://www.landaco.com.cn
印 刷	常熟市华通印刷有限公司	畅想教育	http://www.widedu.com
开 本	787×1092 1/16	版 次	2007 年 6 月第 1 版
印 张	20	印 次	2007 年 6 月第 1 次
字 数	467 000	定 价	27.00 元

凡购买高等教育出版社图书, 如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 请在所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 21416-00

前 言

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,是按照教育部颁布的“高职高专教育专业人才培养目标及规格”和“高职高专教育基础课程教学基本要求”以及2003年教育部等六部门“关于实施职业院校制造业和现代服务业技能型紧缺人才培养培训工程的通知”中有关专业的专业课教学基本要求而编写的。本书可作为各类高职院校机械、数控、冶金、轻工、化工、建筑等有关专业的教学用书,也可作为其他各类职业学校相关专业的教学与培训用书,亦可供教学人员、技术管理人员自学及参考。

全书主要包括直流电路、交流电路、电磁与变压器、二极管及小功率直流电源、放大电路与振荡电路、数字电路、电源电路、常用电机、低压电器和电动机控制电路、电能转换技术及用电。

本书在编写过程中力图体现:以培养综合素质为基础,以能力为本位,把提高学生的职业能力放在首位,在保证必要的基础理论知识的前提下,突出和加强实践性环节教学,以“用”字为核心,把学生培养成为企业生产服务一线迫切需要的高素质劳动者。全书在结构体系、知识内容、能力培养、表述方法等方面均做了较大的变更,主要特色有:

(1) 采用理论与实践一体化的教材结构模式。在一些主要课题的教学过程中采用理论教学与实践训练相结合的模式展开,全书共安排了12个实验实训课题,尽量给学生创造动手训练的空间,以缩短理论教学与实践教学之间的距离,加强了内在联系,使衔接呼应更合理,强化了知识性和实践性的统一。

(2) 打破了先电工、后电子的教材内容编排体系。按照知识结构程序及实际应用状况将电工与电子部分有机地结合在一起,前后呼应,融为一体。

(3) 突出电工、电子技术领域的新知识、新技术、新工艺和新材料。以我国最近倡导的建设节约型社会及新能源政策为主线,借鉴国外职业技术教材的特点,达到培养符合企业生产一线急需的高素质人才的要求。

(4) 采用国家最新颁布的电气系统图形符号和文字符号。在介绍各类电工、电子产品时尽量反映我国的科技进步和当前市场的实际情况,使学生学以致用,避免以往教材内容滞后于社会科技进步和生产实际现状的弊病。

本书总教学时数(含理论课及技能训练课时数)为80~110学时,具体建议课时分配方案如表所示。

前 言

	内 容	学 时 数			
		合计	讲授	实验实训	机动
1	直流电路	6(6)	4(4)	2(2)	
2	交流电路	16(12)	12(10)	4(2)	
3	电磁与变压器	8(6)	6(4)	2(2)	
4	二极管及小功率直流电源	4(4)	4(4)		
5	放大电路与振荡电路	14(10)	10(8)	4(2)	
6	数字电路	14(10)	10(8)	4(2)	
7	电源电路	6(4)	4(4)	2	
8	常用电机	18(12)	14(10)	4(2)	
9	低压电器和电动机控制电路	14(10)	12(8)	2(2)	
10	电能转换技术及用电	4(2)	4(2)		
11	机动	6(4)			
12	总计	110(80)	80(62)	24(14)	6(4)

本书第1、2、3、8、9章由湖南铁道职业技术学院赵承荻编写,第10章由张莹编写,第4、5、6章由湖南铁路科技职业技术学院周玲编写,第7章由陈应华编写,第11章实验与实训由陈应华、龙伟民编写。全书由赵承荻、周玲担任主编,由湖南铁道职业技术学院姚和芳主审,在此表示谢意。

由于编者水平有限,书中缺点、疏漏及其他不足之处恳请使用本书的教师、读者批评指正。

编 者

2007年5月

目 录

第 1 章 直流电路	1
1-1 电路及电路模型	1
1-2 电路的主要物理量及相互关系	2
1-3 电路元件	13
1-4 电阻的连接	16
1-5 电路的三种状态	20
1-6 基尔霍夫定律	21
思考题与习题	25
第 2 章 交流电路	28
2-1 概述	28
2-2 正弦交流电的基本概念	29
2-3 正弦交流电的表示法及简单运算	31
2-4 单一参数正弦交流电路	32
2-5 串联交流电路	40
2-6 功率因数及其提高	46
2-7 三相交流电路	48
思考题与习题	58
第 3 章 电磁与变压器	61
3-1 磁电基础	61
3-2 变压器的基本概念	68
3-3 三相变压器、自耦变压器和互感器	75
思考题与习题	80
第 4 章 二极管及小功率直流电源	82
4-1 二极管	82
4-2 二极管单相整流电路	85
4-3 滤波电路	87
4-4 稳压电路	89
思考题与习题	91
第 5 章 放大电路与振荡电路	95
5-1 晶体管	95

目 录

5-2	晶体管基本放大电路	100
5-3	多级放大电路	103
5-4	共集放大电路——射极输出器	105
5-5	功率放大器	107
5-6	集成运算放大器及其应用	110
5-7	放大电路中的负反馈	114
5-8	正弦波振荡器	116
	思考题与习题	121
第 6 章	数字电路	125
6-1	数制	125
6-2	门电路	126
6-3	触发器	132
6-4	寄存器和计数器	140
6-5	译码器与显示器件	146
	思考题与习题	152
第 7 章	电源电路	157
7-1	晶闸管	157
7-2	晶闸管可控整流电路	160
7-3	无源逆变器	164
7-4	变频电路	166
7-5	直流调压电路	168
7-6	交流调压电路	170
	思考题与习题	172
第 8 章	常用电机	173
8-1	概述	173
8-2	三相异步电动机	174
8-3	单相异步电动机	186
8-4	直流电机	190
8-5	特种电机	196
	思考题与习题	201
第 9 章	低压电器和电动机控制电路	204
9-1	常用低压电器	204
9-2	三相异步电动机控制电路	218
9-3	单相异步电动机控制电路	227

9-4 直流电动机控制电路	228
思考题与习题	230
第 10 章 电能转换技术及用电	231
10-1 电能、机械能转换技术	231
10-2 电能、热能转换技术	232
10-3 电能、光能转换技术	238
10-4 电能、声能转换技术	244
10-5 电能、化学能转换技术	247
10-6 安全用电与节约用电	249
思考题与习题	253
第 11 章 实验与实训	255
实验实训一 基尔霍夫定律及电位的测定	255
实验实训二 荧光灯电路的安装与功率因数的提高	260
实验实训三 实用交流调压电路	264
实验实训四 单相变压器及自耦变压器的使用	268
实验实训五 整流、滤波与稳压电路	275
实验实训六 单级放大电路	279
实验实训七 集成运算放大电路	281
实验实训八 触发器	284
实验实训九 计数、译码、显示电路	288
实验实训十 三相异步电动机的检修和测试	291
实验实训十一 单相异步电动机(电扇)的控制和检修	297
实验实训十二 三相异步电动机继电器-接触器控制电路	303
参考文献	308

第1章 直流电路

1-1 电路及电路模型

在现代社会的各个领域,电工和电子设备被广泛地应用。为了实现某种应用的目的,需要将各种电工、电子器件及设备与电源等按一定的方式相互连接起来,以形成电流的通路,实现电能与其他形式能量之间的相互转换。

电路就是电流流通的路径。它由某些电气设备、元件和电源(或信号源)组成,用于实现能量的传送和转换或实现信号的传递和处理。例如,图 1-1 所示手电筒电路中的电源(干电池)通过开关使电流通过电珠,将电能转变为光能做照明之用。由图中可见,电路主要由以下几部分组成。

一、电源

电源是电路中提供能源的设备,把化学能、光能、机械能等非电能转换为电能,如蓄电池、干电池、太阳能电池、发电机等。

二、负载

负载是电路中的用电设备,能将电能转变成其他形式的能量,如电灯、电炉、收音机、电视机、电动机等。

三、中间环节

中间环节的作用是把电源和负载连接起来形成闭合电路,并对整个电路实行控制、保护及测量,主要有连接导线、控制电器(如开关、插头、插座等)、保护电器(如熔断器等)、测量仪表(如电流表、电压表等)。

如图 1-1a 所示为手电筒的实物图,清楚明了,但画起来比较麻烦。工程上为了把电路中各个组成部分之间电的关系简明地表达出来,常用国家规定的电气图用图形符号及文字符号表示电路中的各个元器件,把实物图简化成电路接线原理图,如图 1-1b 所示。

图 1-1b 所示的电路接线原理图在实际应用中仍有不足之处,实际元器件或设备种类繁多,特性及用途也各异,因此给电路的分析及计算带来了许多困难及不便。为此,在分析及计算电路时,可把实际电路中的各种元器件都用表征其物理性质的理想电路元件来代替,例如,干电池用电动势 E 代替,电珠用电阻 R 代替,如图 1-1c 所示,这种用理想电路元件组成

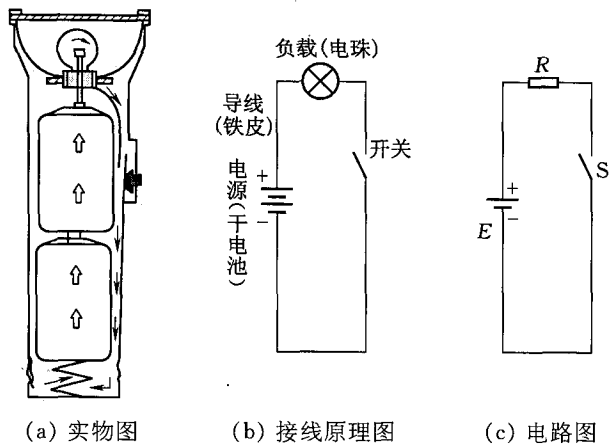


图 1-1 手电筒的电路

的电路称为实际电路的电路模型。电路图中常用的图形及文字符号见表 1-1。

表 1-1 电路图中常用的图形及文字符号

直流电源 E		电容 C		开关 S	
固定电阻 R		电压源		熔断器 FU	
可变电阻 R		电流源		电压表	
电感 L		电灯 EL		电流表	

电路种类繁多,根据其使用大体可分两大类。一类用于实现电能的传输及转换,如上面所述的照明电路及给电动机负载供电的动力电路,习惯上称为“强电”电路。另一类用于进行电信号的传递和处理,如收音机、电视机电路、晶体管测温度电路等,习惯上称为“弱电”电路。根据供电电源的不同,电路又可分直流电路(由直流电源供电)和交流电路(由交流电源供电)两大类。此外,在一个闭合的电路中,电源内部的电路称内电路,电源外部的电路称外电路。

1-2 电路的主要物理量及相互关系

一、电流及参考方向

电路中电荷在电源的作用下定向移动即形成电流。电流的产生必须满足两个基本条件:一是有电源供电,另一个是必须形成闭合回路。电流的大小等于单位时间(t)内流过导体中的电荷[量](Q),用字母 I 表示:

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

电流 I 的单位为 A(安[培]); 电荷 Q 的单位为 C(库[仑]); 时间 t 的单位为 s(秒)。有时电流还用 kA(千安)、mA(毫安)、 μ A(微安)表示, 它们之间的数量关系见表 1-2。

对于随时间变化的电流来说, 电流 i 应等于电荷[量] q 对时间的变化率, 即

$$i = \frac{dq}{dt}$$

表 1-2 单位之间的数量关系

中文代号	吉	兆	千	百	十	个	分	厘	毫	微	皮
国际代号	G	M	k	h	da	—	d	c	m	μ	p
倍乘数	10^9	10^6	10^3	10^2	10	—	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-6}	10^{-12}

如果电流的大小和方向不随时间变化, 称为直流电(简称为 DC)。如电流的大小和方向随时间变化, 则称为交流电(简称为 AC)。

电流的方向规定为正电荷运动的方向。如图 1-2 所示, 因此在电源内部电流由负极流向正极, 而在电源外部电流则由正极流向负极, 以形成闭合回路。图中 R_0 是电源的内电阻。

在进行电路分析计算时, 电流的实际方向有时难以确定, 这时可先假定一个电流方向, 并在电路图中用箭头标出, 称为参考方向(或正方向)。然后根据所假定的参考方向列出电路方程求解, 如计算结果为正, 表示电流实际方向与参考方向相同; 如为负, 表示电流实际方向与参考方向相反, 如图 1-3 所示。因此, 电流参考方向的假定在电路分析计算时是必不可少的, 必须特别予以注意。同样, 在分析电动势、电压、电位等物理量的正负时, 也与参考方向(或参考点)的选择有关。

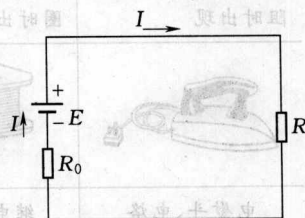


图 1-2 电路中电流的方向

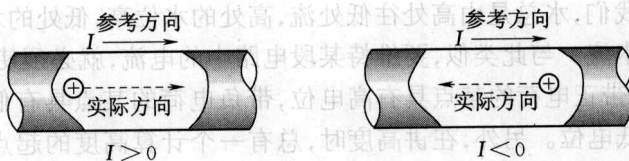


图 1-3 电流的正负

测量电流的仪表叫电流表, 使用电流表测量电流的方法为:

(1) 测量直流电流用直流电流表, 其外形如图 1-4a 所示。测量交流电流用交流电流表, 而交直流表既可测直流, 也可测交流。

(2) 必须把电流表串接在被测电路中, 表的正端“+”接电流的流入端, 表的负端“-”接电流的流出端, 如图 1-4b 所示。

(3) 电流表的量程必须大于被测电流的数值。

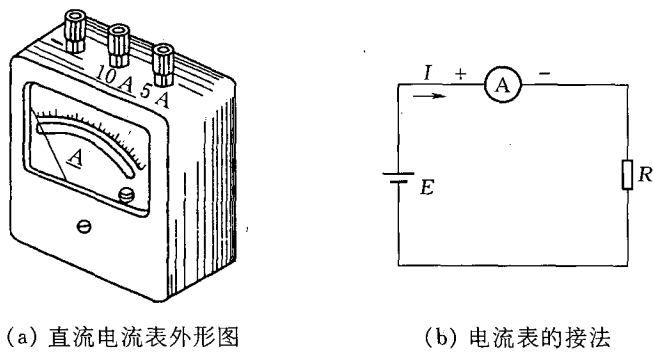


图 1-4 直流电流的测量

相关知识

电流的作用和效应

电流通过各种不同的负载时会产生各种不同的作用和效应,见表 1-3。

表 1-3 电流的作用和效应

热效应在流过电阻时出现	磁效应在流过线圈时出现	光效应在气体和一些半导体中出现	化学效应在导电的溶液中出现	对人体生命的效应
电熨斗、电烙铁、熔断器	继电器线圈、开关装置	白炽灯、发光二极管	蓄电池的充电过程	事故、动物麻醉

二、电位

生活实践告诉我们,水总是由高处往低处流,高处的水位高,低处的水位低,它们之间因存在水位差而形成水流。与此类似,要维持某段电路中的电流,就必须使电路两端有一定的电位差。在电路中,带正电荷的某点具有高电位,带负电荷的某点具有低电位,在外电路中电流从高电位流向低电位。另外,在讲高度时,总有一个计算高度的起点,通常以海平面作为基准参考点。电路中讲电位也必须有一个计算电位的起点,通常以大地作为参考点,在电子电路中则以金属底板、机壳或公共点作为参考点。参考点的电位为零,用符号“ $\frac{0}{\text{—}}$ ”或“ $\perp$ ”表示。

在物理课中我们知道,在电荷的周围存在着电场这种特殊物质。电荷在电场中要受到电场力的作用,某一点的电位是指电场力将正电荷 Q 从电场中的某一点移到参考点时所做的功(W)。电位用字母 V 表示:

$$V = \frac{W}{Q} \tag{1-2}$$

式中, W 的单位为 J(焦[耳]); Q 的单位为 C(库[仑]); V 的单位为 V(伏[特])。

必须特别注意, 电路中任意点的电位的大小与参考点的选择有关。当参考点的选择不同时, 该点的电位值也随之改变。例如, 在图 1-5 中, 如果以点 A 为参考点, 则 $V_A = 0$, $V_B = 3\text{ V}$, $V_C = 9\text{ V}$; 如以点 B 为参考点, 则 $V_B = 0$, $V_A = -3\text{ V}$, $V_C = 6\text{ V}$ 。

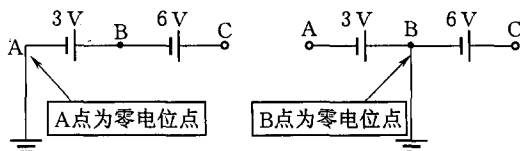


图 1-5 电位的参考点

三、电压(电位差)

水位差是循环水路中形成水流的原因, 同样电位差是电路中形成电流的原因。当然, 水流和电流在本质上是两种不同的运动形式。

电路中某两点之间的电位差称为该两点间的电压, 即

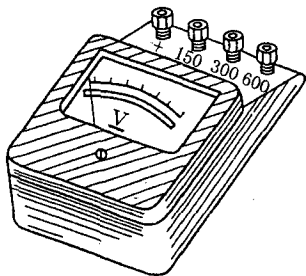
$$U_{AB} = V_A - V_B \quad (1-3)$$

电压的数值等于正电荷 Q 在电场力的作用下从一点移动到另一点时所作的功, 即

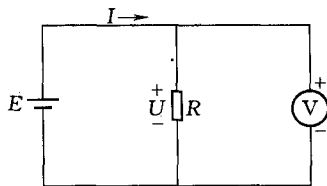
$$U_{AB} = \frac{W_{AB}}{Q} \quad (1-4)$$

电压用字母 U 表示, 它的单位也是 V(伏[特]), 电压的方向规定为由高电位端指向低电位端, 通常用“+”“-”极性表示, 即从“+”端指向“-”端, 如图 1-6 所示。在进行电路计算时, 如一时无法判定电压的实际方向, 也可先假设一个电压的参考方向, 如计算结果为正, 则表示电压的实际方向与参考方向一致; 如结果为负, 则表示电压实际方向与参考方向相反。

电压参考方向和电流参考方向可以分别加以假定, 但在电路分析计算时常假定电压参考方向和电流参考方向相一致, 称关联参考方向, 这样比较方便和清楚, 如图 1-6 所示, 流过 R 中的电流及 R 两端的电压方向即一致。



(a) 直流电压表外形图



(b) 电压表的接法

图 1-6 直流电压的测量

必须特别指出:电路中任意两点之间的电压值与参考点的选择无关。例如,在图 1-5 中,若以点 A 为参考点,则 $U_{CA} = V_C - V_A = (9 - 0)V = 9V$; 若以点 B 为参考点,则 $U_{CA} = V_C - V_A = [6 - (-3)]V = 9V$ 。

测量电压的仪表叫电压表,其外形如图 1-6a 所示。使用直流电压表测量直流电压时必须把电压表跨接(并联)在被测电路的两端,电压表的正端(+)接电路中的高电位端,电压表的负端(-)接电路中的低电位端,如图 1-6b 所示。电压表的量程必须大于被测电路两端的电压。

四、电动势

前面已经讲过,水位差是产生水流的原因,在循环水路中靠水泵把水从低水位提升到高水位来产生水位差。与此类似,电位差是产生电流的原因,在电路中则靠电源来维持任意两点间的电位差。因此,电源是电路中提供电能的装置,其作用是将非电能转换成电能。电源内部由其他形式的能量转换为电能在电源两极间所产生的电位差叫电动势 E ,其数值等于电源内部电源力将正电荷 Q 从电源负极移到正极所作的功 W_s ,即

$$E = \frac{W_s}{Q} \quad (1-5)$$

电动势 E 的单位也是 V(伏),电动势的方向规定为从电源负极指向正极。

电动势是指电源内部两极间的电位差,而电压是指电源对外电路两极间的电位差。

知识链接

电压(电动势)的产生方法

产生电压(电动势)的装置称电源,从能量转化的角度看,电源就是把其他形式的能源转化为电能。其方法有:

1) 通过电磁感应产生电压

如图 1-7 所示,当将条形磁铁插入线圈中或从线圈中拔出时,通过线圈中的磁通发生变化,则在线圈两端产生电压,如图 1-7a 所示。也可以使导体在磁场中作切割磁感线的运动,则在导体两端产生电压,如图 1-7b 所示。发电机、变压器等都是利用电磁感应原理制成的。

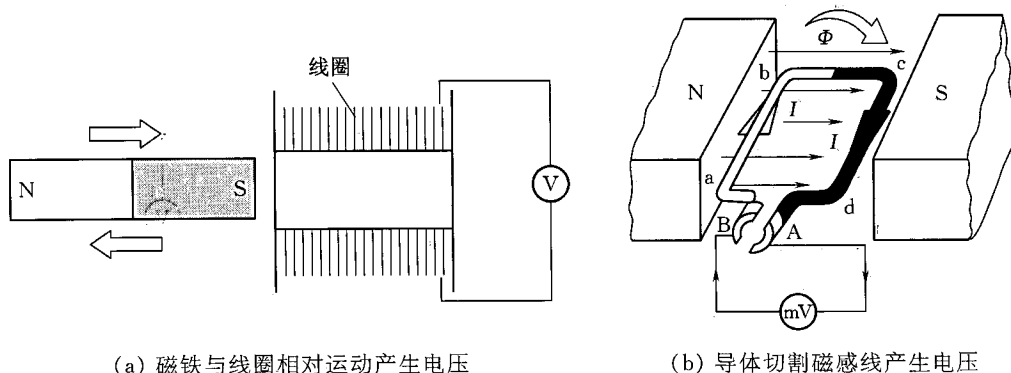


图 1-7 通过电磁感应产生电压

2) 通过热量产生电压

如图 1-8 所示,将一段铜丝和一段康铜丝的一端焊接在一起,并在接点处加热,则它们的另外两端之间会产生电压,这就是热电偶传感器的工作原理。

3) 通过光产生电压

如图 1-9 所示,将一光敏元件接在电压表两端,用光源照射该光敏元件,则光敏元件两端会产生电压。光敏元件用于测光表的传感器、卫星的电源设备及自动控制系统中。

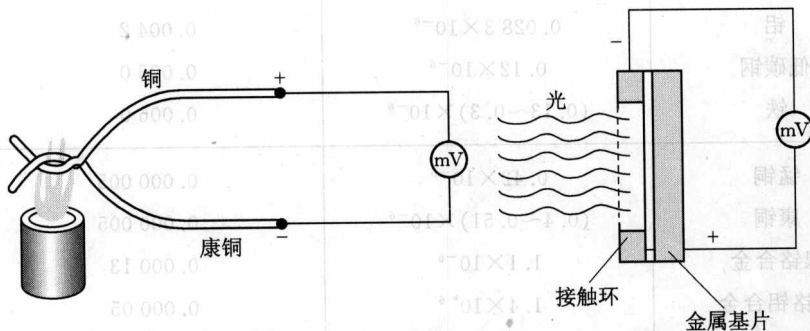


图 1-8 通过热量产生电压

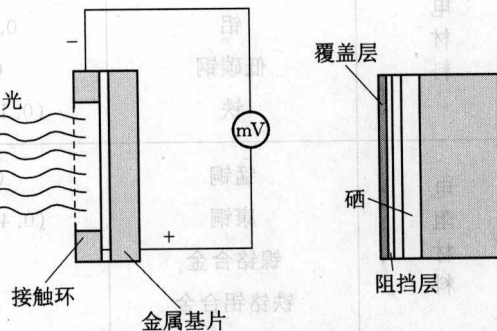


图 1-9 通过光产生电压

4) 通过晶体的形变产生电压(压电效应)

如图 1-10 所示,将压电晶体与高内阻的电压表相连接,并在其特定的表面施加压力,当压力增大和减小时,电压表显示出电压。压电晶体可用于电唱机的拾音头,晶体话筒和压力传感器等。

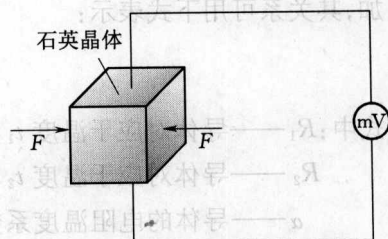


图 1-10 通过晶体产生电压

五、电阻

理论及实践都证明,导体对电流的通过具有一定的阻碍作用,称为电阻,用字母 R 表示,单位为 Ω (欧[姆])。金属导体的电阻大小可用下式计算:

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (1-6)$$

式中: l ——导体长度, m ;

A ——导体横截面积, m^2 ;

ρ ——导体电阻率, $\Omega \cdot m$ 。

各种不同金属材料的电阻率 ρ 是不同的,可参看表 1-4。

由表 1-4 可见,在常用的导电材料中,银、铜、铝的电阻率都很小,即对电流的阻碍作用小。其中铜、铝被广泛用来制造各种导线,电机、变压器、电器的线圈及各种导电元器件。银的电阻率虽然最小,但由于价格较贵,只在有特殊要求的场合下应用,如制作半导体器件的引线、电器的触点等。电阻率比较高的材料主要用来制造各种电阻元件,例如,镍铬合金及

铁铬铝合金的电阻率较高,并有长期承受高温的能力,因此常用来制造各种电热器件,如电炉、电熨斗、电热水器、电吹风等的发热电阻丝。

表 1-4 金属材料的电阻率 ρ 和电阻温度系数 α (20°C)

用途	材料名称	电阻率 $\rho/(\Omega \cdot \text{m})$	电阻温度系数 $\alpha/^{\circ}\text{C}^{-1}$
导电材料	银	0.0165×10^{-6}	0.0038
	铜	0.0175×10^{-6}	0.0040
	铝	0.0283×10^{-6}	0.0042
	低碳钢	0.12×10^{-6}	0.0060
	铁	$(0.13 \sim 0.3) \times 10^{-6}$	0.0060
电阻材料	锰铜	0.42×10^{-6}	0.000005
	康铜	$(0.4 \sim 0.51) \times 10^{-6}$	0.000005
	镍铬合金	1.1×10^{-6}	0.00013
	铁铬铝合金	1.4×10^{-6}	0.00005

导体的电阻不仅与材料有关,还与温度有关,金属导体在温度升高时其电阻也随着增加,其关系可用下式表示:

$$R_2 = R_1 [1 + \alpha(t_2 - t_1)] \quad (1-7)$$

式中: R_1 —— 导体对应于温度 t_1 时的电阻, Ω ;

R_2 —— 导体对应于温度 t_2 时的电阻, Ω ;

α —— 导体的电阻温度系数, $^{\circ}\text{C}^{-1}$ 。

许多电气设备(如电动机、变压器等)在使用过程中会发热,利用式(1-7),通过测量其线圈电阻的变化,即可方便地测量其温度的变化。

例 1-1 某电动机在未运转前测得其铜线圈的电阻 $R_1 = 3.7 \Omega$, 此时周围的环境温度为 $t_1 = 20^{\circ}\text{C}$, 当电动机通电运行 1 h 后,电动机线圈因发热而使温度上升,此时测得线圈的电阻 $R_2 = 4.5 \Omega$, 求该电动机线圈的温度 t_2 及温升 $t_2 - t_1$ 。

解: 由表 1-4 查得铜的电阻温度系数 $\alpha = 0.004^{\circ}\text{C}^{-1}$, 由式(1-7)得

$$t_2 = \frac{R_2 - R_1}{\alpha R_1} + t_1 = \left(\frac{4.5 - 3.7}{0.004 \times 3.7} + 20 \right)^{\circ}\text{C} = 74^{\circ}\text{C}$$

则线圈的温升

$$t_2 - t_1 = (74 - 20)^{\circ}\text{C} = 54^{\circ}\text{C}$$

由表 1-4 可见,少数铜合金(康铜、锰铜)的电阻几乎不受温度的影响,即 α 近似为零,因此被广泛用来制造各种标准电阻、滑线变阻器、测量仪表中的分流器和分压器等。

另外还有一些物质,例如某些半导体、碳导体、电解液等,当温度升高时其电阻反而减小,称为负温度系数。它们常用在电子线路中做温度补偿元件。