

电 工 基 础

上 册



无锡市化学工业“七·二一”工人大学翻印

一 九 七 七 年 八 月

毛主席语录

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义。

教育必须为无产阶级政治服务，必须同生产劳动相结合。

这个辩证法的宇宙观，主要地就是教导人们要善于去观察和分析各种事物的矛盾的运动，并根据这种分析，指出解决矛盾的方法。

江南大学图书馆



91304481

无锡市纺织工业职工大学图书馆	
总号	19643
类别	TM 电工技术
分类号	938
书页	141

目 录

绪 论	1
第一章 直流电路	4
§1—1 电 路	4
§1—2 电 流	4
§1—3 电压和电位	6
§1—4 电动势	9
§1—5 欧姆定律 电阻	11
§1—6 全电路的欧姆定律	14
§1—7 电功与电功率 电能转变热能	17
§1—8 具有几个电动势的电路	20
§1—9 电路中电位的计算	26
§1—10 简单直流电路的计算	28
§1—11 克希荷夫定律	37
§1—12 支路电流法	40
*1—13 节点电压法	42
*1—14 等效电源法	45
*1—15 互选原理	49
*1—16 星形负载与三角形负载的等值变换	50
1—17 单双臂电桥	55
小 结	62
习 题	63

*此节为参考内容

目 录

第二章	电磁和电磁感应	70
2—1	电流的磁场	71
2—2	磁场对载流导体的作用力 磁感应强度	74
2—3	磁场强度	80
2—4	全电流定律	84
2—5	铁磁材料的磁化 电磁式仪表	87
2—6	磁路和磁路定律	95
	小 结	102
2—7	直导线中的感应电势	103
2—8	机械能转变为电能 电能转变为机械能	105
2—9	回路中的感应电势	109
2—10	涡 流	115
2—11	自感应	119
2—12	互感应	124
	* 摇表介绍	128
	习 题	134

绪 论

“电”的生产和应用，在当前已经成为衡量一个国家国民经济发展状况的重要标志之一。

“电”对我国社会主义工业化，农业电气化，国防现代化以及人民生活的改善等各方面都起着愈来愈重要的作用。

生产机械的自动控制，飞机舰艇的自动导航，工矿的电力牵引，农村的电力排灌以及日常生活中的电灯、电话、电视、收音……等等都离不开“电”。

“电”所以能够获得这样广泛的应用是与它的很多独特的优点分不开的。

电能是一种极其灵活的能量，很多形式的能量，如热能、水能、太阳能、原子能等等都可以很方便的转换成电。同时电能也可以很方便的转换成其他形式的能量，如热能、光能、机械能、化学能等等，从而为电能的生产和应用提供了丰富的物质基础。

电能最便于传输和分配，通过输电和配电设备，可以将强大的电力输送到极遥远的地方，并且可以很方便的分配给不同的用户，这是电能获得普遍应用的重要因素。

此外，电能便于控制和测量，并且灵敏、迅速、准确、可靠。为实现工农业自动化创造了有利的条件。

我国是世界上发现“磁”现象最早的国家之一。但是，在解放前我国人民深受帝国主义，封建主义，官僚资本主义三座大山的剥削和压迫，长期处于殖民地、半殖民地的地位，电能的生产和应用都十分落后，而且发展和布局很不平衡，几乎百分之九十的发电设备都集中在少数几个大城市里，电机和电器的制造工业更是少得可怜，基本上处于只能修理不能制造的落后局面，绝大部分设备都是依靠国外进口。

解放后，在中国共产党和毛主席的英明领导下，在“鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义”的总路线光辉照耀下，我国的电气事业获得了空前的发展，电能的生产比解放前增长了数十倍，

全国各大区的电力网已经形成，送电电压高达33万伏。电机和电器制造工业迅速发展，大至几十万千瓦的巨型发电机，小至零点几瓦的微型电动机都能自己制造。电能的应用迅速扩大到各个生产技术领域和祖国的各个角落，农村用电正在不断普及，过去所谓的穷山沟，如今也建起了水电站。

特别是经过无产阶级文化大革命之后，全国人民在毛主席无产阶级革命路线的指引下，狠批刘少奇、林彪一伙的“爬行主义”、“洋奴哲学”等反革命修正主义路线，坚决贯彻毛主席“独立自主”、“自力更生”的方针，使我国的电气工业发生了根本的变化。电能的生产和应用出现了史无前例的新局面。现在，我国已经能够生产大型发电站，钢铁联合企业、近代化的机械工业等各个工业部门所用的全套电机电器和测量仪表。我国工人阶级和工程技术人员自行设计制造成功了世界上第一台12万5千千瓦双水内冷汽轮发电机组。自行设计制造成功了人造地球卫星用的全部电气设备和自动控制设备。每秒计算百万次的全部用集成电路的大型电子计算机已经试制成功，彩色电视正在试播，可控硅、电子计算机等新技术已经在电力工业、钢铁工业、交通运输等部门逐步推广应用。所有这些令人鼓舞的新成就，都是毛主席无产阶级革命路线的伟大胜利。

随着生产和科学技术的不断发展，各种新电机、新电器、新仪表，新元件正在不断出现，电能的应用范围正在不断扩大。这就要求我们对电工技术领域的一些基本理论问题和工程应用问题开展更加深入广泛的研究。

电工技术所包括的范围是极其广泛的，整个电能的生产和应用都与电工技术有关，为了生产电能，就必须用发电机；为了带动各种生产机械运转，就必须用电动机；为了实现生产的机械化和自动化，就必须有一套对电动机进行自动控制的控制电器和测量仪表。例如继电器、接触器、交磁放大机、磁放大器、晶体管、可控硅及各种自动化仪表等等。为了实现各种不同目的的控制过程，就必须将各种电器组成相应的控制电路，例如交直流主电路，继电接触电路，无触点电路，晶体管电路，可控硅电路，集成电路等等。然

而，各种电机电器和仪表的结构形式虽然很多，但它们的基本原理都是与电磁理论分不开的。电路虽然形式上也是千变万化，种类繁多，但概括起来不外乎是直流电路，交流电路，非正弦电路等几种基本的类型。

“电工基础”所研究的主要内容就是与各种电机、电器和仪表有关的电磁理论问题，各种基本电路中带有普遍性的分析和计算问题以及各种常用电气量的测量原理和操作技能问题。但是应该强调指出：“电工基础”是一门与工程实际密切相关的专业基础课，因之，它的设课目的就应该是在实践的基础上探索电工技术领域中的基本理论，基本规律，基本运算方法和基本测量技能。并运用这些基本的理论，规律，方法、技能去指导实践，在实践的过程中不断充实，不断提高。在学习中应该把主要精力放在培养分析问题和解决问题的能力上。

旧电工基础课程，一直被认为是一门纯理论性的课程，有的教材干脆就叫“理论电工学”。它和其他旧教材一样充满着形而上学和唯心主义的观点，渗透着资产阶级的偏见和传统势力。特别在刘少奇、林彪一伙的反革命修正主义路线的影响下，他们时而把“基础理论”捧得神乎其神，理论万能，时而又把“基础理论”贬得一文不值，理论无用。其实，伟大领袖毛主席早就教导我们：“理论的基础是实践，又反过来为实践服务”。“电工基础”也不能例外，它同样也是来源于实践，服务于实践的。伟大导师列宁也曾经指出：“理论要由实践来鼓舞，由实践来修正，由实践来检验”。因此，我们必须以批林整风为纲，以马列主义、毛泽东思想为武器，彻底批判刘少奇、林彪一伙散布的“理论至上”、“理论无用”等修正主义的谬论。坚持理论与实践统一的辩证唯物主义观点，树立为革命而学习的正确思想，为加速我国的社会主义建设努力学好电工技术。

伟大领袖毛主席号召我们：“中国人民有志气、有能力，一定要在不远的将来赶上和超过世界先进水平”。“中国应当对于人类有较大的贡献”。让我们在党的十大精神的鼓舞下，努力攀登科学技术高峰，为全中国人民和全世界人民做出应有的贡献。

第一章 直流电路

1—1 电路

在工业生产中，合上电闸，电动机就转动起来。在日常生活中，合上开关，电灯就亮了。这时，我们知道在电动机和电灯中通过了电流，使电能转换为电动机中的机械能及电灯泡中的光能和热能。电流流通的闭合回路叫做电路。图1—1表示了一个最简单的电路。在电路中，必须包括下面四个组成部分：

1. 电源：它的作用是把其他形式的能量变成电能供给电路，是形成电流的能量源。常用的直流电源有干电池，蓄电池，整流器，直流发电机等。



图1—1 电路

2. 负载：是电能转换为其他能量的装置。负载包括各种用电设备，如电灯、电动机、电炉（电能变为热能），电镀和电解（电能变为化学能）等。

3. 导线：用它把电源和负载连接起来，造成电流的通路。其本质是起传输电能的作用。

4. 控制和保护设备：如开关，保险丝等。

目前，在生产和生活用电方面，电能的发送、传输和使用主要是通过电路来进行的。电路起着能量转换和传输的作用，电路中能量转换和传输的媒质就是电流。本章所要研究的就是电流在电路中流通并实现能量转换的基本规律。

1—2 电流

电流就是电荷的定向移动。由物理学中知道，导体中存在大量的自由电荷，它可以在导体中自由运动。平常自由电荷的运动是无规则的、紊乱的，不能形成电流。把导体接到电源上构成电路时，自由电荷便在电源的作用下朝一定方向移动。自由电荷在导体中的定向移动便是电流。

在什么条件下能形成电流？首先必须有导体回路，其中存在着

可以移动的自由电荷，这是产生电流的内部根据，也是主要的因素。绝缘体中由于没有自由电荷，电流就不能流通。其次还要有一定的外部条件，即必须使导体中的自由电荷不是毫无规则的乱动，而是按一定的方向移动，这就要对电荷加上一定方向的作用力，即加上一个电场，这个电场通常由电源来产生。电场对自由电荷的作用力驱使自由电荷按一定方向移动，就形成了电流。

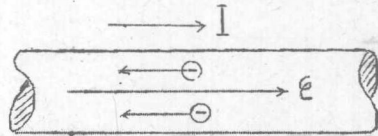


图 1—2 电流

电流的大小用电流强度来表示。电流强度是以单位时间（每秒）通过导体横断面的电量来计标的，即

$$I = Q / t \quad (\text{安培})$$

式中 I —电流强度，单位为安培（A）；

Q —电量，单位为库仑；

t —时间，单位为秒。

1 安培的电流就是在 1 秒钟内通过导体横断面的电量为 1 库仑。

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

对于较小的和较大的电流，又采用下列单位：

$$1 \text{ 微安} (\mu A) = 10^{-6} \text{ 安培} = \frac{1}{1000000} \text{ 安}$$

$$1 \text{ 毫安} (mA) = 10^{-3} \text{ 安培} = \frac{1}{1000} \text{ 安}$$

$$1 \text{ 千安} (KA) = 10^3 \text{ 安培} = 1000 \text{ 安}$$

电流的方向规定为正电荷通过导体断面的方向，即与自由电子运动的方向相反。图 1—2 中箭头 E 表示电场方向，电子在电场中受力而移动的方向与 E 相反，其所形成的电流方向则与 E 相同。可见电流的方向是与导体中电场的方向一致的。

如果电流的大小和方向均不随时间而变，这种电流叫做直流。
如果电流的大小和方向都不断随时间变化，则叫做交流。

复习思考题

在无分支的简单电路中，各段导体材料和粗细都不相同，问通过的电流是否相同。

1—3 电压和电位

一、电压

由上节知道，形成电流有两个因素：外施电场和导体内部的自由电荷。显然电流的大小将与电场的强弱有关。在电路中，通常不用电场强度 ε 来表示电场，而用电场移动单位电荷所做的功——电压——来说明电场的作用。

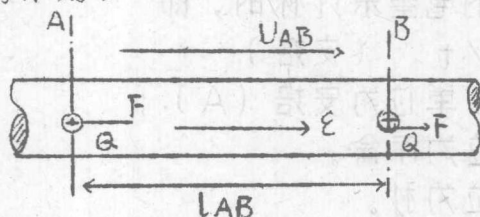


图 1—3 电压

图 1—3 表示长度为 l_{AB} 的一段导体，其中有电场作用，电场强度为 ε 。在这电场的作用下，正电荷将受力 F 而向右移动。如果在电场力 F 的作用下电荷 q 由 A 移到 B，移动的距离为 l_{AB} ，则电场力将要作功 A 。

$$A = F \cdot l_{AB} \quad (1)$$

电场力将单位正电荷从 A 点移到 B 点所作的功定义为 A、B 两点间的电压（电位差）：

$$U_{AB} = \frac{A}{q} \quad (2)$$

式中 A 的单位为焦耳， q 的单位为库仑时，则电压的单位为伏特（V），简称伏。

将式①代入式②，可以得到匀强电场中电压为

$$U_{AB} = \frac{F}{Q} l_{AB} = \sum \cdot l_{AB}$$

即对一定长度的导体来说，电压是与电场强度成正比的。在实践中我们发现，导体两端电压越高，电流就越大，就是因为电压越高说明了电场越强的缘故。

在电路中用电压来表明电场作用是比较方便的，因为它容易测量，又便于计算功率及电能，用起来很方便，不过使用时需要注意电压的正负。

首先应明确电压总是指电路中两点之间的电压，即是两点，就有一个先后次序，例如图 1—3 中 A、B 两点，是从 A 到 B 还是从 B 到 A。如果正电荷从 A 到 B 电场力作了正功，电压为正，那么反过来从 B 到 A 就必须有外力做功，电场则得到能量，或者说电场力作负功，即电压为负。可见两点次序颠倒电压就会差一负号。

$$U_{AB} = -U_{BA}$$

所以在说电压的时候，就必须明确从那点到那点。除用文字下标

的次序来表示（如 U_{AB} 或 U_{BA} ）外，在电路图上通常用电压箭头来表示顺序。例如图 1—4 中用箭头 U_1 来表示从 A 到 B 的电压，即 $U_1 = U_{AB}$ ，箭头 U_2 则表示从 B 到 A 的电压，即 $U_2 = U_{BA}$ 。

（例 1）在图 1—5 电路中已知电压 $U_1 = 1$ 伏， $U_2 = 3$ 伏， $U_3 = 0.5$ 伏，求 U_4 、 U_{AC} 和 U_{DB} 。

（解）： U_4 为由 A 到 D 的电压，即 U_{AD} ，该电压根据定义将为电场力把单位正电荷由 A 移到 D 时所作的功，这个功应分为三部分之和：即单位正电荷从 A 到 B 电场力作的功 U_1 ，再从 B 到 C 电场力作

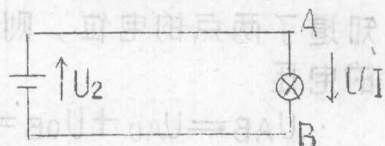


图 1—4 电压箭头

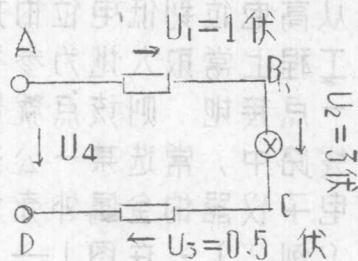


图 1—5 例 1

功 U_2 ，再从 C 到 D 电场力作功 U_3 ，故

$$U_4 = U_1 + U_2 + U_3 = 1 + 3 + 0.5 = 4.5 \text{ 伏}$$

同理可得

$$U_{AC} = U_{AB} + U_{BC} = U_1 + U_2 = 1 + 3 = 4 \text{ 伏}$$

计算 U_{DB} 时要注意正负号。

$$U_{DB} = U_{DC} + U_{CB} = (-U_3) + (-U_2) = -0.5 - 3 = -3.5$$

或：

$$U_{DB} = U_{DA} + U_{AB} = -U_4 + U_1 = -4.5 + 1 = -3.5$$

二、电位

有时为了方便起见，在电路中取定^{一点}为参考点，而把其他各点对参考点的电压定义为各点的电位。如图 1—6 中以 O 点为参考点（通常取接地点），则 A 点对 O 点的电压就是 A 点的电位。

$$\phi_A = U_{AO}$$

同理，B 点电位

$$\phi_B = U_{BO}$$

参考点本身的电位为零： $\phi_0 = 0$

知道了两点的电位，则该两点间的电压就容易求得，例如从 A 到 B 的电压

$$U_{AB} = U_{AO} + U_{OB} = U_{AO} - U_{BO} = \phi_A - \phi_B$$

就是两点电位之差，所以电压也叫电位差。从上式可见，从高电位点到低电位点的电压为正，反之则为负，所以电压的正方向也就是从高电位到低电位的方向。

工程上常取大地为参考点，即通常认为大地的电位为零。把电路某一点接地，则该点就是参考点。参考点常以接地符号表示。在电子线路中，常选某一公共线作参考点，这条线又叫“地线”。地线与电子仪器的金属外壳连在一起。

（例 2）：在图 1—7 所示的晶体三极管电路中，发射极 e 接地，测得基极 b 电位为 -0.6 伏，集电极 c 电位为 -12 伏，问电压 U_{eb} 、 U_{ec}

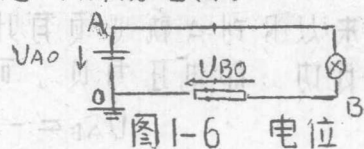


图 1-6 电位

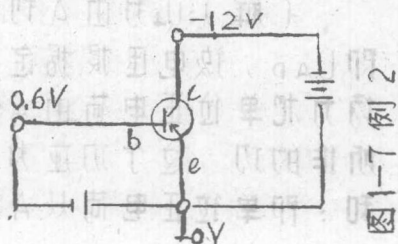


图 1-7 例 2

是多少？如果把基极接地（发射极不接地），求发射极和集电极的电位。

〔解〕电压 $U_{eb} = \phi_e - \phi_b = 0 - (-0.6) = 0.6$ 伏

$U_{ec} = \phi_e - \phi_c = 0 - (-12) = 12$ 伏

如基极 b 接地，则 $\phi_b = 0$ ，各点电位要改变，但参考点的改变不影响两点间的电位差（电压），所以电压仍和发射极 e 接地时相同。基极接地时发射极电位

$\phi_e = U_{eb} = 0.6$ 伏

集电极电位

$\phi_c = U_{cb} = U_{ce} + U_{eb} = -U_{ec} + U_{eb} = -12 + 0.6 = -11.4$ 伏

复习思考题

1. 电压 U_{AB} 为负值的物理意义是什么？为什么 $U_{AB} = -U_{BA}$ 。
2. 电位与电压间的关系是什么？参考点的改变对电位和电压有什么影响？

1——4 电动势
上面说到，导体中产生电流的必要条件是存在电场和电压。如图 1—8(a) 所示的灯泡中要有电流通过，就必须要在 A 、 B 两点间保持一定的电压，或者说， A 点电位必须经常高于 B 点电位。正如图 (b) 所示水流的情况一样，要保持水流不断，必须维持水位差，而水泵就起着维持水位差的作用。在电路中，电位差的产生和维持都要靠电源的作用。电源依靠外部能量作用，在它的正负两极之间经常保持着一定的电位差，所以图 (a) 中开关一合，灯泡中就有电流源源不断地流通了。

电源实质上是一个能量转换装置。例如发电机把机械能转换成

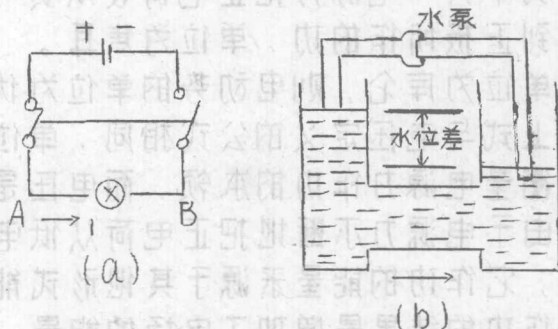


图 1—8 电流和水流

电能。电池则把化学能转换成电能，热电偶则把热能转换成电能。在电源内部存在一种电源力，它驱使正负电荷朝相反的方向移动，于是在电极两端积累了不同极性的电荷，形成正负极。正负极的电荷产生电场和电压，因而在两极间形成一定的电位差。电场和电压方向是从正极到负极，所以正极是高电位，负极是低电位。在电源外部的电路中电流是从正极经过负载流向负极，而在电源内部的电路（简称内电路）中，电流是从负极流到正极，完成一个循环。在内电路中，为了使电流（或正电荷）能从低电位往高电位流，电源力需要作功，电源力把单位正电荷从负极移到正极所作的功，叫做电源的电动势，简称电势，用符号 E 表示：

$$E = A/Q$$

式中 A ——电源力把正电荷 Q 从负极移到正极所作的功，单位为焦耳。

Q 的单位为库仑，则电动势的单位为伏特。

上式与电压定义的公式相同，单位也相同，所不同的是，电动势是衡量电源力作功的本领，而电压是衡量电场力作功的本领的。

由于电源力不断地把正电荷从低电位移到高电位，它就不断地作功，它作功的能量来源于其他形式能量（如机械能、化学能等），而它作功的结果是增加了电场的能量，所以说，电源是一个把其他形式的能量转变为电能的装置。

电动势的正方向规定如图 1—9 所示，是从电源的负极指向正极，也就是从低电位指向高电位，所以电动势和电压的正方向是相反的。

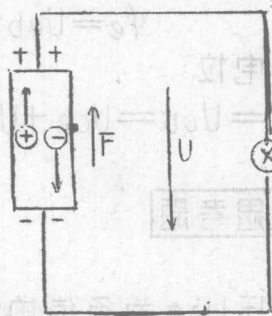


图 1—9 电源

复习思考题

试把电动势的定义及方向和电压作一比较。

1-5 欧姆定律 电阻

上面几节说明了电路中产生电流的原因：由电源电动势产生电位差，在外电路的导体中造成电场，使导体中的自由电荷朝一定方向运动，于是形成了电流。电流在外电路中是从高电位流向低电位，而在内电路中，则依靠电源力的作用，以低电位流向高电位，如此循环不断地流动。

进一步研究数量方面的关系，经过实验知道，一段无电源的导体上加上电压 U ，其中通过的电流 I 跟电压 U 成正比，电流的方向跟电压的方向一致，如图 1-10 所示。电压与电流的比值。

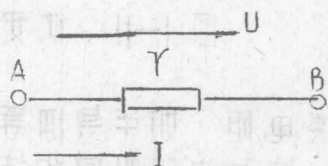


图 1-10 欧姆定律

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

叫做导体的电阻，它的单位是欧姆 (Ω)

在同一电压下，电阻越大，电流就越小，所以电阻表示导体对自由电荷流通的阻力，这种阻力来源于：

1. 异性电荷间的吸引力，
2. 自由电荷在运动中要与导体中其他分子、原子发生碰撞和摩擦，阻碍自由电荷的前进。

知道了导体的电阻和导体两端的电压，导体中的电流便可按下式计算

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

这便是一段无源支路的欧姆定律，是电工学中最基本的定律，应能牢固掌握，灵活运用。

电阻可分为两类，一类电阻的数值不随电压和电流变化，是一了常数，这种电阻叫做线性电阻，它的电压与电流成正比，欧姆定律可以适用。把电压与电流的关系用曲线表示，叫做伏安特性，则线性电阻的伏安特性是一根直线，如图 1-11 (a) 所示

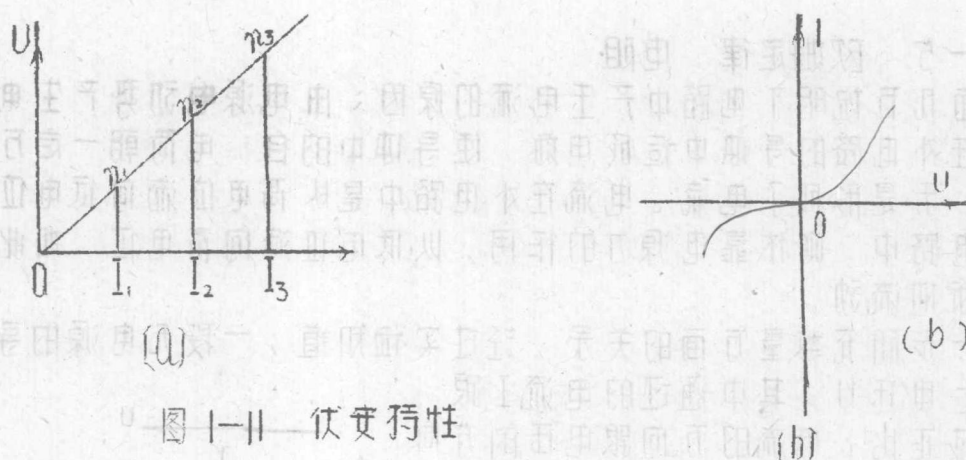


图 1-11 伏安特性

另一类电阻，如半导体等，它的伏安特性不是直线，如图 1-11 (b) 所示，这种电阻叫做非线性电阻。非线性电阻的数值要随电压和电流而变化，所以欧姆定律不能适用。

导体的电阻还和温度有关。金属导体的电阻值一般都随温度的上升而增加。有一些导体如碳，其电阻值则随温度上升而减少。经过大量科学实验，发现金属电阻随温度而增加的数值，与温度增高值成正比。在温度 0°C 到 100°C 范围内，导体在温度 θ_1 时为 γ_1 ，在温度 θ_2 时为 γ_2 ，则

$$\gamma_2 = \gamma_1 (1 + \alpha(\theta_2 - \theta_1)) \quad (1)$$

式中 α 叫做温度系数，表示温度每增高 1°C ，每一欧姆电阻所增加的电阻值。它的数值与导体尺寸无关，仅与材料种类有关，其单位是 $1/^{\circ}\text{C}$ 。常用导电材料的 α 值列于下表：

材 料	0°C 到 100°C 范围内的电阻温度系数 $1/^{\circ}\text{C}$
银	0.0036
铜	0.004
铝	0.004
铁	0.006
钨	0.0046

材 料	0°C到100°C 范围内的电阻温度系数1/°C
钢	0.006
黄铜	0.002
康铜	0.000005
锰铜	0.000005
镍铬合金	0.00012~0.0005
铁铬铝	0.00012~0.00047

进一步研究表明， γ 是随温度而变的，因此上表所列的 γ 值系在0°C~100°C范围内电阻温度系数的平均值。

导线铜在电力工程上应用很广，在一些场合下要求更精确的计算当温度改变时铜导体电阻的变化，计算铜导体在相同温度下电阻的实用公式为：

$$\frac{\gamma_2}{\gamma_1} = \frac{2345 + \theta_2}{2345 + \theta_1} \quad (2)$$

利用电阻随温度的变化关系，可以通过测量电机绕组电阻的变化，来确定电机温度升高数值的大小，详见下例。

电阻的倒数称为电导，用 g 表示，是用来衡量导体导电本领的物理量。它的实用单位是姆欧(%)，简称姆。由于

$$g = \frac{1}{\gamma}$$

欧姆定律可以写成 $I = U g$

(例) 有一电动机，在20°C时，其激磁绕组（绕在铁心上的铜线）的电阻为100欧，运行一段时间后，测得电阻为120欧，问此时的绕组的温度是多少？

(解) 已知 $\theta_1 = 20^\circ\text{C}$ ， $\gamma_1 = 100\ \Omega$ ， $\gamma_2 = 120\ \Omega$ ，从铜的电阻温度实用关系式(2)中可以解出 θ_2

$$\frac{120}{100} = \frac{234.5 + \theta_2}{234.5 + 20} = \frac{234.5 + \theta_2}{254.5}$$