

电 工 学

广东农林学院森工系

机械基础教研组编

1973年9月

前 言

“社会主义制度促进了我国生产力的突飞猛进地发展”解放20多年来，在党中央和毛主席的英明领导下，在党的社会主义建设总路线的指引下，我国人民贯彻执行党的各项正确政策和方针，发扬艰苦奋斗，勤俭建国，自力更生，奋发图强的革命精神，特别是通过无产阶级文化大革命，使我国的电气工业和机电工业一样得到迅速的发展，取得了极大的成就。

电力工业方面：迅速改变了解放前我国仅少数城市和地方能够用电的情况，根据我国地大物博，水力资源丰富等特点，在全国有计划地兴建大中型的水电站，修建了大量的输电线路并且连成了强大的电力网。无产阶级文化大革命后的近几年来，全国各地认真贯彻执行毛主席提出的关于发展工业的一整套两条腿走路的方针，大力发动群众兴办小水电站，农村中小型水电站已遍布全国，大大加速我国电力工业向前发展。

电机电器制造方面，已经改变旧中国残缺不全的状况，从无到有，从修配仿制到自行设计制造，从不成套到成套。很多地方工厂也能制造出各种各样的电机电器。上海工人阶级，坚持毛主席“独立自主，自力更生”的伟大方针，发扬“一不怕苦，二不怕死”的彻底革命精神，在十个月内自行设计，制造，安装到胜利发电建成了具有世界先进水平的十二万五千瓩双水内冷汽轮发电机组。

电力工业是国民经济的“先行官”。我国电气工业的迅速发展，又有力地推动了我国的国防工业，和工农业生产力的突飞猛进。

当前在现代的工业，农业，国防工业及国民经济的各个部门广泛地应用着电能。电力已经成为主要的电力来源。例如：机械工业中的各种金属加工机床，冶金工业中的选矿，卷扬机，轧钢机，化学工业中的各种泵，鼓风机，压缩机，造纸工业中的挖土机，起重机等。森林工业中热压机，热磨机等，在农业中的电动排灌机械，碾米机等都是用电动机来驱动的。

电工技术还广泛地应用于工业生产的各种工艺过程中，例如电焊，电火花加工，电炉炼钢，电解，高频干燥等。此外，交通运输部门的电车，汽车，拖拉机的点火都是用电来完成的。

火车，轮船，飞机也离不开电。

电能也是现代物质和文化生活不可缺少的，如电灯，电话，电报，无线电广播，X光等。只有应用电能才能实现生产的自动化，电气化。电气工业是国民经济的重要组成部分，是进行阶级斗争，生产斗争和科学实验三大革命运动的强大物质基础。在社会主义制度下，电能的广泛应用，能加速三大差别的消灭，伟大的革命导师列宁曾经说过“共产主义就是苏维埃政权加全国电气化。-----只有当国家实现了电气化，为工业，农业和运输业打下了现代工业的技术基础的时候，我们才能彻底取得胜利。”列宁还把全国电气化计划叫做“第二个党纲”，这就是说要实现共产主义，不仅需要以无产阶级专政作为政治基础，同时还必须实现全国城乡的电气化作为经济基础。

电能所以会遭到这样广泛的应用，是因为它同其它能源相比而具有如下的独特优点。

(1)，电能易于转换。电能可以很方便地同水能，热能，化学能，原子能等转换而得；同时电能又可以很容易地转换成我们所需要的机械能，热能，光能，化学能等。

(2)，电能易于输送和分配。这样一方面能合理地解决工业企业布局问题，使工业企业可能尽量与原料产地相接近，又可以储备大量动力资料的地方（煤矿，河川）设立发电厂通过输电线路把电能输送给工厂，企业。这样就有利于充分利用天然资源，另一方面可以把电能直接分配到每台机器便于生产。

(3)，电能易于控制，测量和调整，这有利于达到生产的高度自动化。例如用自动监督来防止事故，保证安全生产，提高产品质量，用自动控制来进行操作，有利于降低劳动强度提高生产率。

“电工学”是研究电磁一般规律在技术上应用的科学，是一门技术基础课程。本课程内容大致有：

(1)，电磁的基本理论知识（包括直流电路，电磁，单相交流电路，三相交流电路）。(2)，各种常用电工仪表，变压器，电机，电器的基本构造性能及作用原理。此外还讲述常用控制电路，配电及安全用电的基本知识概念。(3)专业生产机械用电。

通过对本课程的学习，要求学员能掌握电工学的基本理论知识，了解本专业内常用的电工仪表，电机，电器的基本构造原理

及性能，了解本专业生产机械的基本电气原理，从而将本组或本班本专业生产进行技术革新而合理使用电能，合理选用各种电机电器，为提高本专业生产力，实现生产自动化，为社会主义建设作出更多的贡献而努力。

目 录

前 言	4
第一章 电流电路	1
1—1 电路概念	1
1—2 电路的基本物理量	1
1—3 欧姆定律	
1—4 电功率 电流的热效应	12
1—5 串联电路和并联电路	14
1—6 基尔霍夫定律	20
1—7 复杂电路的计算	23
第二章 电磁	1
2—1 磁力和磁力线	1
2—2 电磁感应	8
2—3 自感和互感	14
2—4 铁磁材料	17
2—5 磁滞损失和涡流损失	19
2—6 电磁铁	21
第三章 单相交流电路	1
3—1 概述	1
3—2 正弦交变电势的产生	1
3—3 正弦交流电的几个基本量	3
3—4 正弦交流电的有效值	5
3—5 正弦量的复数表示法	7
3—6 纯电阻电路	9
3—7 纯电感电路	11
3—8 纯电容电路	14
3—9 交流串联电路	16
3—10 交流电路的功率	20
3—11 交流并联电路	23

3-12	功率因数及其提高	28
------	----------	----

第四章 三相交流电路

4-1	概述	1
4-2	三相电动势的产生	1
4-3	三相电源的联接	3
4-4	三相负载的星形联接	7
4-5	三相负载的三角形联接	12
4-6	三相交流电路的功率	16

第五章 电工测量

5-1	概述	1
5-2	电工仪表的分类及其准确度的等级	1
5-3	电磁式仪表	5
5-4	电敏式仪表	8
5-5	电动式仪表	9
5-6	感应式仪表	10
5-7	电流和电压的测量	11
5-8	功率的测量	14
5-9	交流电路的测量	18
5-10	兆欧计	21
5-11	万用表	23

第六章 变压器

6-1	变压器的功用	1
6-2	变压器的工作原理	3
6-3	变压器的运行情况	6
6-4	变压器的损失和效率	11
6-5	三相变压器	14
6-6	自耦变压器	17
6-7	代用互感器	19
6-8	电焊变压器	23
6-9	变压器的构造	24
6-10	变压器的名牌	26

	第七章 异步电动机	1
7—1	概述	1
7—2	异步电动机的构造	1
7—3	异步电动机的工作原理	4
7—4	异步电动机的运行情况	13
7—5	异步电动机的使用常识	24
7—6	三相异步电动机定子绕组	36
7—7	单相异步电动机	53
7—8	电动机的维护和常见故障检查	59
	第八章 常用电器及基本控制线路	1
8—1	概述	1
8—2	非自动电器	1
8—3	自动电器	6
8—4	电动机的继电器接触器基本控制线路	11
	第九章 工业企业用电	1
9—1	发电和输电概念	1
9—2	工业企业配电	2
9—3	导线截面选择	5
9—4	熔断器的选择	9
9—5	安全用电	11

第一章 直流电路

1—1 电路概念

电路就是电流所经之路。它是由许多电气设备组合而成。根据电路中各部分的作用不同，可以分为三个主要部份。如图 1—1 所示。

(1) 电源：它的作用是将其它形式的能量（如机械能、化学能等）转换为电能。

(2) 负载：（即用电设备，如电灯，电动机等）它的作用是将电能转换为其它形式的能量（光能、机械能等）。

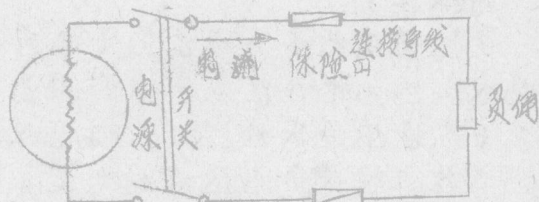


图 1—1 最简单的直流电路

(3) 电源与负载的联接部分：联接部份中除必不可少的联接导线外，还常接有开关和保险器，它的作用是用来输送、分配和控制电能的。

对电源来说，负载及联接部份叫做外电路，电源的内部则叫做电源的内电路，外电路和内电路合起来称全电路。

电路中能量的转换、输送、分配及控制是反映在电流、电压及电动势等上面的，所以在分析与计算电路之前，先讨论一下电路中的这几个基本物理量。

1—2 电路的基本物理量

1. 电的本质

工农业生产及生活中用的各种电动机，日常生活中用的电灯，电风扇等都是电发挥的巨大作用。但是，电是什么呢？毛主席教导说：“人们为着要在自然界里得到自由，就要用自然科学来了解自然，克服自然和改造自然，从自然界里得到自由。”

人们很早就发现：某些物质经摩擦后，有吸引轻微物体的作用，这就是带电的现象，这种电叫静电。

电学中进一步指出：一切物质都是由分子组成的，而分子由

原子组成，原子又是由一个原子核和以极大速率在它周围旋转的若干电子组成。原子核带正电荷（用“+”符号表示），电子带负电荷（用“-”符号表示），实验证明：同种电荷相排斥，异种电荷相吸引。

电荷的多少叫做电量（用“ Q ”表示）它是量度物体带电荷程度的量。电荷既不能被创造，也不能被消灭，它们只能从一个物体上转移到另一个物体上，或者在一个物体内部移动，其单位是库仑，简称库。

在正常情况下，由于正负电荷数量相等，所以物质显示不带电现象。因为电子在原子核的周围是分层分布的，因此最外层的电子与原子核距离较远，且相互间吸引力较少，于是在外力的作用下，很容易脱离自己运行的轨道，流入其它原子的体系。当某原子失去电子后即带正电，而另一获得电子的原子即带负电。

电荷的周围存在着电场，电场是一种物质。实验证明把电荷放到某一电场内，电荷将受到作用力，这种力称为电场力。

2. 电流

电荷有规则的移动，就形成电流。在金属导体中的电流是自由电子有规则的移动，在电解液中的电流是离子的有规则的移动。当电荷仅作不规则的热运动时，通过导体任一截面积的电量为零，对外就显示不带电。

电流强度即（电流的大小）：在单位时间内通过某一导体截面的电量称电流强度简称电流。

大小和方向不随时间变化的电流称为恒定电流，简称直流（ I ）即

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

式中 Q 是在时间 t 内通过导体截面 S 的电量。

电流随时间变化时，称为变化电流即交流（ i ）则

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1-2)$$

习惯上规定正电荷运动的方向为电流的方向。在分析与

计算电路时，常规定一方向作为电流的正方向。电流的正方向并不一定与电流的实际方向一致，当电流的正方向与实际方向一致时，则电流为正值（图1—2 a），反之，当电流的正方向与实际方向相反时，则电流为负值（图1—2 b）。

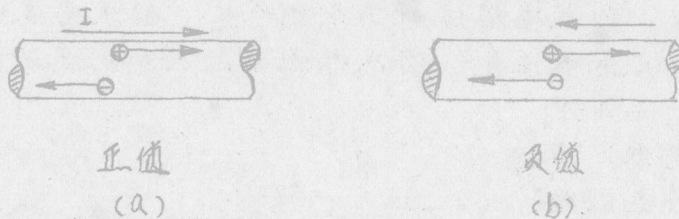


图1—2 电流的正方向

电流的单位是安培(A)简称安。即1秒钟内通过导体截面的电量为1库仑时，则电流为1安培。1安培的十分之一为1毫安(mA)，1毫安的十分之一为1微安(μA)。即1安=1000毫安，1毫安=1000微安。关于安培的具体概念，可从下面这些数字来看：当0.005安培的电流通过人体时，就会有感觉，超过0.05安培就有生命的危险；白炽电灯中电流是0.25—1安；电动机的电流从几安到几百安；收音机真空管中的电流是几个毫安。

3. 电位

如上所述，把电荷搬到某一电场中电荷将在电场力的作用下运动，运动的方向称为运动方向，电荷在电场力的作用下运动的过程，即是电场对电荷做功的过程，这说明电场具有能量。电场力做功的性质和重力做功完全相似，因此和引入重力势能一样，我们也可以认为电荷在电场中任何一个位置时，都具有一定的势能。电荷在电场中所具有的势能称为电势能。如果有电荷 q 在电场中受到外力，当电荷逐渐移向无限远时，电场力作正功，电势能逐渐减少，到无限远时，电荷受重力为零，电势能最少，所以 (φ) 是单位正电荷从电场中给定点 a 移到无限远时电场力所做的功。即 $\frac{A_{a\infty}}{q}$ ，它是表征电场中给定点 a 的性质物理量。

电位 (φ) 的单位为伏特，(简称伏)。如果单位电荷从 a 移到无限远时，电场力做功为一焦耳，则 a 点的电位是1伏特，(用 φ_a 表示)

4. 电压

电流就是电荷有规则地流动，要维持导体中电荷不间断地流动，必须有一种外力连续作用，如同水流一样，设有甲、乙两水池（图1—3）中间用水管接通，水管上有一活门。当甲池水面高于乙池水面时，把活门打开，甲池水即向乙池流动，于是两池水位差渐次减少，到水位相同时，水流停止。如果要使水继续流动，必须保持一定的水位差。所以水位差是水流的原动力。

同理在图1—4中，

a 和 b 是两个电极， a 带正电， b 带负电即电极 a 的电位 φ_a 高于电极 b 的电位 φ_b ，因此在电极 a 、 b 之间产生静电场，其方向是由 a 向 b 。如采用导线将 a 和 b 联接起来，则在此电场的作用下，正电荷就要从电极 a 经联接导线流向 b （即从高电位经导线流向低电位）。这就是电场对电荷作了功。正电荷在电场的作用下，从高电位流向低电位。这样，电极 a 因正电荷的减少而使电位逐渐降低，电极 b 因正电荷的收受而使电位逐渐升高，

当 a 和 b 两电极的电位差减到零时，则导体中的电流也相应地减到零。如果要使电流在导线中不断地流动，就必须保持 a 和 b 两电极之间有一定的电位差。因此，电位差就是电流的原动力， a 和 b 两电极之间的电位差就是该两点间的电压（用 U_{ab} 表示）。以上分析 a 、 b 两电极间的电压，就是电场力把单位正电荷从 a 点移到 b 点所做的功，即

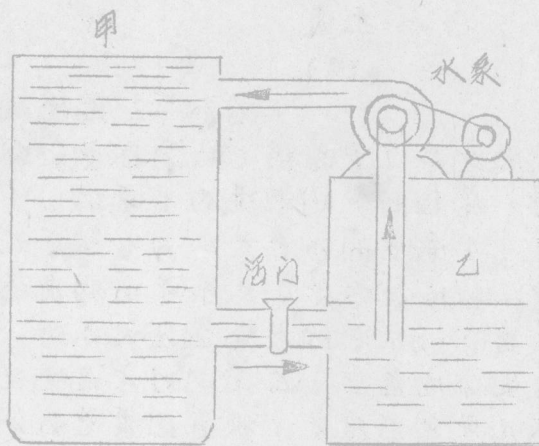


图1—3 水池

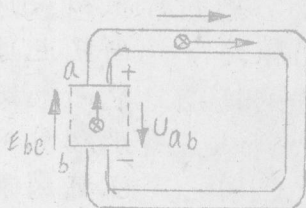


图1—4 电荷的回路

$$U_{ab} = \frac{A}{q}$$

(1—3)

电压的符号（实际符号）规定为由高电位向低电位，也就是电位降低的符号。

电压的单位是伏特（用“V”表示），简称伏，即一库仑的电荷从a点移到b点，电场力作功为1焦耳时则a、b两点间的电压为1伏特，比伏特大的单位是千伏（用“KV”表示）。关于伏特的具体概念，可从下面这些数字来看：电灯线路的电压为220伏，常用的动力（如电动机）的电压为380伏；高压电杆在接触导线与轨道之间的电压为600伏；市内高压线路的电压约为10.5千伏；远距离电线的电压约为35千伏，110千伏，220千伏。

5. 电动势

在图1—3中要维持甲、乙两水池有水位差，就在两水池间装一台水泵，利用升动的水泵将乙池的水不断地抽进甲池，保持甲池的水面始终比乙池高，从而保证了水位差，甲池的水不断流入乙池。

同理，在图1—4中要维持a、b两点之间有电压差，也就是要使b电极上添加的正电荷，经过另一路径流向电极a，因此必须借助与水泵有相似作用的外部力量。电源就能产生这种外部力量，在电源中将有一种所谓电源力，例如在发电机中，当导体在磁场中运动时，导体内便产生这种电源力。电源实质上就是把其它形式的能量（如机械能）转换成电能的过程。以上分析，电动势就是电源力把单位正电荷从电源的低电位端b经电源内部移到高电位端a所做的功，称为电源的电动势（用“ $\mathcal{E}_{ba}$ ”表示）

即

$$\mathcal{E}_{ba} = \frac{A}{q} \quad \text{--- (1—4)}$$

电源电动势的符号（实际符号）规定为在电源内部是由低电位向高电位，也就是电位升高的符号，

电动势的单位是伏特，直流电源的电动势和端电压都是恒定的，直流发电机的电压有115伏和230伏等多种，蓄电池的电压约2伏，直流电源的符号如图1—5所示。

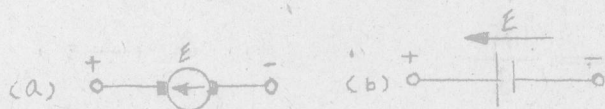


图 1—5 直流电源的符号

(a) 发电机

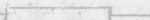
(b) 电池

很明显电压和电动势都是产生电流的驱动力。但电压是指任意两点间的电位差，而电动势是指电源内部促使电荷运动的动力。

1-3 欧姆定律

~~(老舍教改书)~~ “刘子教改书说：要真正的认识对象，就必须把握和所研究的一切方面，一切联系和媒介。”在研究欧姆定律之前，首先要了解与其有关的知识。

1. 电阻

电荷在导体中移动，和水在水管中流动相似，都会有一定的阻力。因为金属导体里面分布着金属原子，当电流通过时，作定向移动的电荷就会和金属的原子相碰撞，从而原子阻碍了电荷的移动。所以电路的电阻，是表示该电路对电流具有阻力的物理性质，此种性质不但不能驱动电荷的运动反而阻止电荷的运动，导体对电流所产生的这种阻力，称为导体的电阻。电阻用“ R ”表示，单位是“欧姆”（ Ω ）（简称欧）或千欧（ $k\Omega$ ）在电路图中电阻用符号  表示。

由实验证明，导体的电阻由下面三个因素决定：

(1) 材料性质相同的导体：电阻与导体长度成正比，与截面积成反比。

(2) 长度，截面积相同的导体，材质不同的导体，电阻也不同，例如铁的电阻大于铜的电阻。

(3) ^{导体的电阻与温度的关系} 同一导体，在不同的温度下就有不同的电阻。一般导体的电阻随温度的增加而增加。如铜，铝，也有一些物质的电阻是随温度的增加而减少的。如碳，酸，瓷等。

总结上述(1)(2)所考虑的各种因素，电阻的计算公式如下：

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

(1—5)

式中： R ：导体的电阻，单位为欧。

l ：导体的长度，单位为米。

S ：导体的截面积，单位为毫米²。

ρ ：导体的电阻率（或称电阻系数），是表示导体材料阻碍电流传导能力的一个物理量，不同的物质具有不同的电阻率。其单位为毫米²/米。

上面讲过电阻与温度有关。实验证明，温度变化在 $0-100^{\circ}\text{C}$ 之间时，所有金属的电阻率都随温度的上升而增大，温度每增加 1°C ，电阻就增加 0°C 时电阻的百分数，即

$$R = R_0 + R_0 \alpha \tau \quad (1-6)$$

式中 R_0 ： 0°C 时的电阻； τ 是升高的温度（ $^{\circ}\text{C}$ ）； α 称为金属的平均温度系数。

2. 部分电路（无源电路）欧姆定律

在分析与计算各种电路时，往往要定量地确定电路中的各部分的电压和电流，欧姆定律是用来确定电路中电压、电流与电阻的关系的。

实验证明：在图1—6一段无源电路中，电阻 R 两端的电压不变，导体内的电流随电阻的大小而改变（电阻大时，电流小；电阻小时，电流大。）

若电阻 R 不变，导体内的电流随电压的变动而变动（电压大，则电流大；电压小，则电流小。）因此部分电路欧姆定律是：导体内电流的大小，与导体两端的电压成正比；和导体的电阻成反比。用公式表示为：

$$\text{电流} = \frac{\text{电压}}{\text{电阻}};$$

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

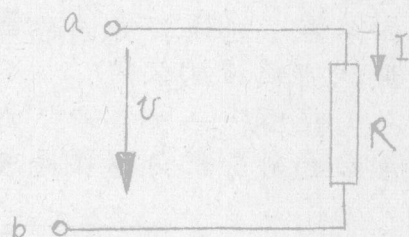


图1—6 一段无源电路

将式(1—7)写成下列形式:

$$IR = U = \varphi_a - \varphi_b \quad (1-8)$$

从式(1—8)可知,当电流通过电阻时,引起电位的不降其数值等于电流与电阻的乘积,即是通常所称的电压降。

3. 有源电路(全电路)欧姆定律

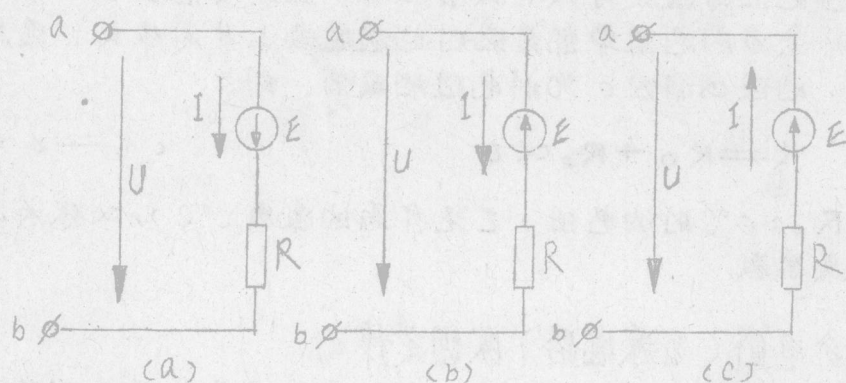


图 1—7 一般含有电阻和电动势的电路

如果在一般电路上不仅有电阻而且还含有电源(即含有电动势 E)时,如图1—7所示,这段电路中的电流不仅与电压的作用有关,而且也与电动势的作用有关,因为这时电压 U 并不直接加在电阻上。要根据欧姆定律,以求得 E , U , I , R 各个量之间的关系,必须按照所给定的电动势,电压及电流的正方向来列出其欧姆定律的公式。

在图1—7 a中,电压、电动势和电流的正方向都一致,电压和电动势都有驱使电流通过电阻的作用,于是,

$$I = \frac{E + U}{R} \quad (1-9)$$

上式称为一般含有电源电路的欧姆定律

在图1—7 b中,电动势与电压对电流的作用相反,电压与电流的正方向一致,驱使电流通过电阻,而电动势与电流的正方向相反

反，阻止电流通过电阻，于是

$$I = \frac{U - E}{R} \quad (1-10)$$

在图1—7 C中，电动势与电压对电流作用的方向相反，但电动势的正方向与电流的正方向一致，驱使电流通过电阻，而电压的正方向与电流的正方向相反，阻止电流通过电阻，于是

$$I = \frac{E - U}{R} \quad (1-11)$$

根据以上所述，可以将一般电源电路的欧姆定律，写成下列普遍公式：

$$I = \frac{\pm E \pm U}{R} \quad (1-12)$$

若规定电动势与电压的正方向与电流的正方向一致时，那末公式中的 E 及 U 的符号为正号，若正方向与电流的正方向相反，则取负号。

电路中具有电动势的电气设备是输出电能，还是吸收电能，要看电路的具体情况而定。当电动势与电流的方向相同时，具有该电动势的电气设备向外输出电能，因而成为电源；当电动势与电流的方向相反时，具有该电动势的电气设备吸收了电能，因而成为负载，此电动势称为反电动势。

在图1—8所示的电路中， $a b$ 就是一段有源电路，这里的电阻 R ，是电源的内阻，在图中所示的正方向下，应用一段有源电路的欧姆定律也可得出与式

(1—11) 相同的结果。即

$$I = \frac{E - U_1}{R_0}$$

$$U_1 = E - IR \quad (1-13)$$

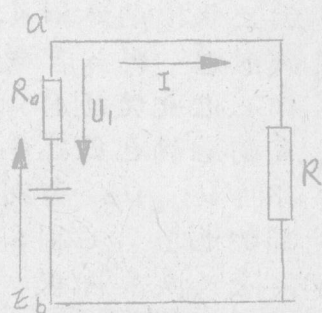


图1—8 电源及其内阻的电路

上式表明电源的端电压 U_1 与电动势 E 之间的差为电流通过电源内阻所产生的电压降。

欧姆定律如应用于闭合回路时，则称回路的欧姆定律，仍以图1—8所示的电路为例，若负载为电阻 R ，则电压 U_1 也就等于在此负载电阻 R 上的电压降，即

$$U_1 = IR$$

将上式代入(1—13)式中得

$$I = \frac{E}{R_0 + R} \quad (1-14)$$

上式表明，在串回路电路中，电流决定于电动势及全电路的总电阻。这一关系称为回路（或全电路）的欧姆定律。

由式(1—13)

$$U_1 = E - IR_0$$

可知，电源端电压小于其电动势的程度与电流大小成正比，通常电源内电阻 R_0 是很小的，故一般可以认为电压 U_1 基本不变。而电路中的电流 I 的大小则由负载 R 来决定。若负载电阻 R 很大，甚至可当作无穷大时，那么，从式(1—14)中可知，通过电路的电流很小，可当作零，这种情况叫做断路或开路，若负载电阻 R 很小，甚至接近于零，那么，从式(1—14)可知，电流很大，这种情况叫做短路，又称“碰线”。

4. 供电线上的电压损失

电路上联接电源和负载的两根导线，不可避免地会有电阻。如果导线很短，那么导线的电阻很小，可以略去不计。如果导线较长，那么电流通过时，必然会在导线的电阻上产生电压降落，因此，负载的端电压就不等于电源的端电压而是要小一些。在图1—9中， U_1 、 U_2 分别为电源和负载两端的电压， l 和 S 为每根供电线的长度及其截面积，

图1—9 导线上的电压损失

