

电 工 学

上 册

(102)	.....	量換戶售 第六第
(112)	.....	量換戶售 第六第
(122)	.....	量換戶售 第六第
(132)	.....	量換戶售 第六第
(142)	.....	量換戶售 第六第
(152)	.....	量換戶售 第六第
(162)	.....	量換戶售 第六第
(172)	.....	量換戶售 第六第
(182)	.....	量換戶售 第六第
(192)	.....	量換戶售 第六第
(202)	.....	量換戶售 第六第
(212)	.....	量換戶售 第六第
(222)	.....	量換戶售 第六第
(232)	.....	量換戶售 第六第
(242)	.....	量換戶售 第六第
(252)	.....	量換戶售 第六第
(262)	.....	量換戶售 第六第
(272)	.....	量換戶售 第六第
(282)	.....	量換戶售 第六第
(292)	.....	量換戶售 第六第
(302)	.....	量換戶售 第六第
(312)	.....	量換戶售 第六第
(322)	.....	量換戶售 第六第
(332)	.....	量換戶售 第六第
(342)	.....	量換戶售 第六第
(352)	.....	量換戶售 第六第
(362)	.....	量換戶售 第六第
(372)	.....	量換戶售 第六第
(382)	.....	量換戶售 第六第
(392)	.....	量換戶售 第六第
(402)	.....	量換戶售 第六第
(412)	.....	量換戶售 第六第
(422)	.....	量換戶售 第六第
(432)	.....	量換戶售 第六第
(442)	.....	量換戶售 第六第
(452)	.....	量換戶售 第六第
(462)	.....	量換戶售 第六第
(472)	.....	量換戶售 第六第
(482)	.....	量換戶售 第六第
(492)	.....	量換戶售 第六第
(502)	.....	量換戶售 第六第

緒 論

1. 电能的应用及其在发展国民经济中的作用

电工学是研究电和磁的现象，並着重研究电磁现象的技术应用的一門課程，电的应用范围极其广泛，現代一切新的科学技术的发展都与电有着密切的关系，因此，电力是技术革命的物质基础。所謂电气化就是要最广泛地发展，电力和运用电力，要以电力作为动力的基本形态。

現代工业、农业、交通运输业都以电力作为主要的动力来源，工业上的各种生产机械（如各种紡織机、机床、起重机、傳送带、挖土机等）都是用电动机来进行傳动的，生产过程的自动操纵与自动控制都是用电来实现的，在机械制造工艺上，电能也正得到日益广泛的应用，如电热，电鋸，高频淬火，电火花加工及超声波加工等。鋼鉄工业、化学工业、原子能工业及无线电技术等方方面更是与电分不开的。农业生产的进一步发展将日益广泛地采用电力灌溉、电力脱谷机、飼料加工和运送的电力装置。許多交通运输設備如电气火車、电車都要用电动机。汽車和飞机也都需用电能。

电又是現代物质和文化生活中所不可缺少的。如电灯、电话、电影、无线电广播、电视及X射线透视等都是电能的应用。

电所以会得到这样广泛的应用，是因为电能具有无可比拟的优越性，电能的优越性主要表现在下列三方面：

- (1) 容易轉換为各种形式的能量——电能可以簡便地从水能

(水力发电),热能(火力发电),原子能(原子能发电),化学能(电池)及光能(光电池)等轉換而得。同时又可簡便地轉換为其他所需要的能量形态。如利用电动机将电能轉換为机械能;利用电炉将电能轉換为热能;利用电灯将电能轉換为光能;利用揚声器将电能轉換为声能;在进行轉換时,損失很小。

(2) 輸送容易而且經濟——电能可以用輸电綫将它輸送到遙远的地方,不但設備简单,而且輸电效率很高,管理方便,因此,解决了动力基地与工业基地的位置問題,工厂可以建筑在原料产地及交通方便之处,而电站可以設立在能源丰富的地方。象煤矿,河流瀑布等。电能不但輸送方便,而且分配极为容易,自几十瓦的电能到几万千瓦的电能,根据用电需要,可以分配自如。

(3) 控制容易而且准确——利用电能可以达到高度自动化,自动监督,防止事故;自动控制,进行操作,自动調整,稳定运行。

电能具有这些优越性,所以在近代技术上創造了許多奇蹟。

电能的应用对劳动生产率的提高和社会生产力的发展起着巨大的作用,电气化是实现工业化和自动化的必要条件,由于能源,原料及运输等条件的限制,沒有电力要想发展大規模工业是不可想象的。列宁曾說过“社会主义的唯一物质基础,就是同时也能改造农业的大机器工业……所謂适合于最新技术水平并能改造农业的大工业,也就是全国电气化”,(列宁文选中文本第二卷886頁)。在生产过程机械化和自动化的基础上,不仅繁重的体力劳动全由机器代替,同时每个工人必須具有高度的文化和科学知識,这样就消除了体力劳动与脑力劳动的差别,在社会主义制度下电气化的結果还必定会消除城乡的差别和工农差别。

因此,列宁在第八次全俄苏維埃代表大会上,对电气化的作用作了卓越的估計:“共产主义——就是苏維埃政权加上全国电气

化……。只有当国家电气化了，只有当我們在工业，农业和运输方面奠定了現代大規模工业基础的时候，我們才彻底地胜利”，（列宁全集俄文版第31卷 484 頁）。并称全俄电气化計劃是“党的第二綱領”。这就是說要实现共产主义，不仅需要无产阶级专政作为政治基础，还必须实现全国城乡的电气化作为經濟基础。

在資本主义社会中是不可能实现有計劃的电气化的，同时也不可能使其有利于劳动人民，相反地，电气化程度愈高，就愈加引起劳动者的失业和貧困。

2. 电工技术发展史

到目前，电工技术这门課，在前人生产劳动中积累知識的基础上，还在不断地发展着。

我国很早就发现电与磁的現象，并在电磁方面作过貢獻，在古书籍中曾有“慈石召鉄”和“琥珀拾芥”的記載。指南針，地磁偏角和磁屏蔽都是我国最早发明的。

在十八世紀末与十九世紀初的这个期間，由于生产需要，在电磁現象方面的研究工作发展得很快，庫倫在1785年首先从实验确定了电荷間的相互作用力，电荷的概念开始有了定量的意义，1819年奧斯特从实验发现了电流对磁針有力的作用，开创了电学理論的新阶段。1820年，安培确定了通有电流的綫圈的作用与磁鉄相似，这就指出了磁現象的本質問題。法拉第在1831年发现的电磁感应現象，更是以后电工技术的重要基础。

要特別指出的，在电工技术方面，有許多发现和发明应该归功于俄国的学者和工程师，他們的卓越的貢獻为电工技术的許多重要方面的发展奠定了基础，俄国科学之父——M. B 罗蒙諾索夫（1711—1765）是俄罗斯研究电气現象的首創者，他揭露了电的本質，并預言电能可以远距离輸送。1802年 B. B. 彼得洛夫发现了电弧，为以后照明，电冶及电焊等电工技术方面奠定了基础。Э. X. 楞次（1804—1835）确定了电流热效应定律（楞

次——焦耳定律)，确定了感应电流方向的定律（楞次定律），并确定了电机可逆性的原理。B、C、亚可比于1838年制造出世界上第一台电动机，证明了实际应用电能的可能性。1876年П、H、亚勃度契闊夫发明了电触。1872年A、H、罗賓根发明了白熾灯。1871年A、Г、斯托列托夫研究了鉄的磁化过程为电机和电器的制造业創造了条件，他又制出了第一个光电管。1882年M、Φ烏沙金发明了变压器。M、O多利沃，多勃罗沃利斯基（1862——1919）发明了三相感应电动机，三相变压器，并首先应用三相电流的輸送。另一个重要的发明是A、C波波夫于1895年发明了无线电，是近代电子学的开端。

3. 我国在电力工业方面的发展情况

解放前我国处在帝国主义，官僚主义和封建主义三重压迫下，电力工业陷于奄奄一息的状态，仅有少数电机厂，且技术落后，产量很少，紡織工业所使用的电动机也都依靠国外进口。

解放后在党的正确领导下，经过三年国民經济恢复期間，我国电力工业迅速地增长，完全改变了反动統治时代那样的面貌，在发电量方面已从1949年的43亿度增长到1959年415亿度，提高了9.65倍，在第一个五年計劃期內，发电量的逐年增长率平均为21.2%这是異常迅速的，而英国在近十几年的发电量的逐年增长率平均仅为6.6%，远远落在我們后面。

我国的动力资源也极为丰富，不但煤和石油的儲藏量丰富，尤其重要的是有丰富的水力资源，水力资源是动力的取之不尽的泉源。水力发电可以节省燃料，可以减少劳动力，水力可以发出大量廉价的电力，因此，我国电力工业的发展方針是“水力为主，火力为輔”。除即将发电的新安江水电站（58万千瓦）和正在建筑的三門峡水电站（100万千瓦）外，刘家峡、青銅峡、新丰江、丹江口等大型电站也已先后施工，此外黑龙江与长江巨型水电站，也在积极筹备开发中。

在电机制造方面，已經达到了相当高的水平，在第一个五年计划期內，造成了22万伏的变压器，11万伏的开关设备，1万5千瓦的水輪发电机，3万5千伏的电力电纜，并取得了設計和制造上的經驗，培养了数以千計的技术工人与技术人员，現在7万2千5百瓦的水輪发电机組和5万瓦的汽輪发电机組都已試制成功，最近几年內还将生产13万瓦以上的水輪发电机組。

因此，从发电量的增长速度，动力资源的供应，建筑力量以及设备的制造水平等方面来看，电力工业和电力设备的制造业不需要15年，而是能在更短的时间内超过英国赶上美国水平，我們相信，有党的正确领导，繼續高举总路綫、大跃进、人民公社三面紅旗奋勇前进，在以苏联为首的各社会主义国家相互帮助下，我們一定能够克服任何困难，取得更輝煌的成就。

4. 課程的任务与要求

我国正在向着电气化的大道迈进，預計实现全国电气化的日子为期不远，在国民經济的各个方面，电能的应用将日益广泛，成为必不可少的条件，因此，要求从事各业的劳动者都应具有一定的电工知識，“电工学”的任务就是給予非电工类各专业的学生配合专业需要的电工知識，能够了解与专业有关的所有电气设备的作用原理，与电工技术人员共同討論有关电气化方面的問題和提出这方面的要求，在学过电工学的基础上进一步的提高，也有可能独立解决电工技术方面的一些問題，在实现紡织技术电气化自动化事业中贡献出力量。

号	0762
类别	TM 电工技术
分类号	014
书页	274

上 册 目 录

緒 論	(4)
第一章 直流电路	(1)
§ 1-1 电場和电場强度	(1)
§ 1-2 电压与电位	(2)
§ 1-3 电流与电势	(4)
§ 1-4 欧姆定律	(6)
§ 1-5 电阻与电导	(10)
§ 1-6 电流的功与功率	(13)
§ 1-7 楞次—焦耳定律	(14)
§ 1-8 克希荷夫定律	(18)
§ 1-9 迴路电流法	(25)
§ 1-10 重叠原理	(30)
§ 1-11 等值发电机定理	(32)
§ 1-12 星形电阻与三角形电阻的等值互换	(36)
§ 1-13 結点电压法	(40)
§ 1-14 复杂电路計算方法比較	(43)
第二章 电气設備中的介質	(53)
§ 2-1 絕緣材料的电气性能	(53)
§ 2-2 絕緣材料	(58)
§ 2-3 电容器	(62)
§ 2-4 电容器的联結	(70)

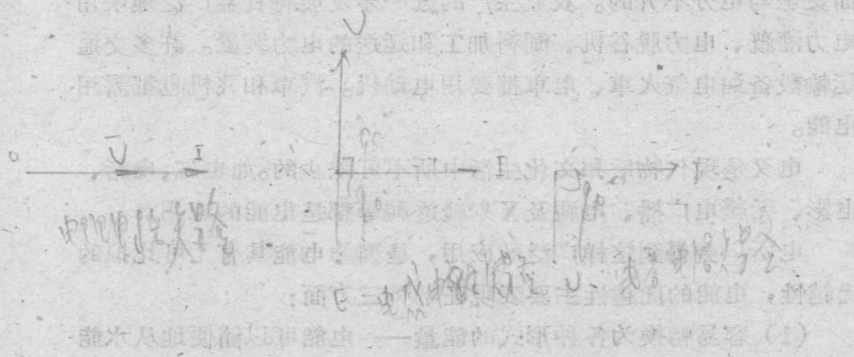


无锡市纺织工业二一大学
图书馆
藏 书

38

§ 2-5	电容器的充电和放电	(72)
§ 2-6	电场的能量	(76)
第三章	电 磁	(78)
§ 3-1	磁場	(78)
§ 3-2	鉄磁物質	(89)
§ 3-3	磁路計算	(93)
§ 3-4	电磁感应	(99)
§ 3-5	互感与自感	(103)
§ 3-6	渦流	(107)
§ 3-7	电感电路中电流的增长与衰減	(108)
§ 3-8	磁場能量	(113)
§ 3-9	电磁鉄的計算	(115)
第四章	单相正弦交流电路	(120)
§ 4-1	交流电的一般概念	(120)
§ 4-2	正弦交变电动势的产生	(121)
§ 4-3	相位及相位差	(126)
§ 4-4	正弦交变量的有效值	(127)
§ 4-5	正弦交变量的旋轉矢量表示法	(129)
§ 4-6	正弦交变量复数表示法	(133)
§ 4-7	单一参数的交流电路	(136)
§ 4-8	电阻,电感和电容的串联电路	(150)
§ 4-9	电阻,电感和电容的并联电路	(161)
§ 4-10	功率因数的提高对节约用电的意义	(173)
第五章	三相交流电路	(184)
§ 5-1	多相制的概念	(184)
§ 5-2	三相电势的产生	(185)
§ 5-3	三相发电机繞组的接法	(187)
§ 5-4	負載星形联接的三相电路	(195)

§ 5-5 负载三角形联接的三相电路.....	(204)
§ 5-6 三相制的功率.....	(210)
第六章 电气测量	(221)
§ 6-1 一般概念.....	(221)
§ 6-2 磁电式仪表及电流电压测量.....	(227)
§ 6-3 电磁式仪表.....	(236)
§ 6-4 电动式仪表及功率测量.....	(239)
§ 6-5 三相功率的测量.....	(243)
§ 6-6 感应式仪表及交流电路中能量测量.....	(243)
§ 6-7 电阻的测量.....	(254)
§ 6-8 电感, 电容的测量.....	(264)
§ 6-9 万用表.....	(270)



第一章 直流电路

§ 1-1 电场和电场强度

自然界中一切元素是由原子组成，而原子是由带正电的原子核和带负电的电子组成。正常状态下，原子核所带正电荷总数与电子所带负电荷总数相等，因而呈中性。物体中的原子可以失去电子或得到电子。失去电子时，此物体带正电；得到电子时，此物体带负电。这些带电荷的物体被称为带电体。

带电体周围存在着一种特殊的物质，即电场。若在电场中放入另一带电体时，那么此带电体将受到电场力的作用。该力的大小与被放入带电体的电量成正比，并与电场本身的特性有关。电场的特性用电场强度 \vec{E} 来描述。其定义：某点的电场强度就是单位正电荷在该点所受到的电场力 \vec{F} 。

$$\text{即} \quad \vec{E} = \frac{\vec{F}}{Q} \quad (\text{牛/库 或 伏/米}) \quad (1-1)$$

电场强度是一个向量，它的方向就是正电荷在该点所受到的电场力的方向。电场的方向和量值可以用电力线表示，电力线上每点的切线方向代表该点的电场方向，和电力线垂直的单位面积上的电力线的数目代表电场强度。图1-1为点电荷的电场，点



图1-1 点电荷的电场

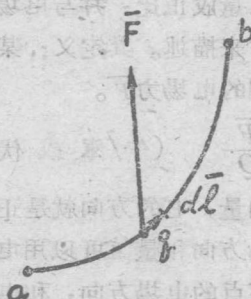
电荷即是极小的带电体。图1—2所示为两块平行的带相反电荷的平板之间的电场。如果在电场内的各点上电场强度相等、方向相同，该电场就称为均匀电场。



图1—2 两块平行平板间的电场

§1—2 电压与电位

电荷在电场中要受到电场力的作用，因而电荷在电场中移动要作功。电荷克服电场力的作用移动时，外力要对电荷作功；在电场力的作用下移动时，电场对电荷作功。若电荷在电场力作用下移动 $d\bar{l}$ 的距离，则电场力所做的功：



1—3 电荷受场力作用

$$dA = \bar{F} \cdot d\bar{l} \quad (1-2)$$

在静电场中，若电量为 Q 的电荷从 a 点到 b 点，电场所做的功：

$$A = \int_a^b \bar{F} \cdot d\bar{l} = Q \int_a^b \mathcal{E} \cdot d\bar{l} \quad (1-3)$$

单位正电荷从 a 点移到 b 点电场力所做的功定义为 a 、 b 二点间的电压 U_{ab} 。电压的符号用 U 或 u 表示。

$$U_{ab} = \frac{A}{Q} = \int_a^b \vec{E} \cdot d\vec{l} \quad (1-4)$$

在均匀电场中
$$U_{ab} = E l_{ab} \quad (1-5)$$

l_{ab} 为 a 、 b 两点在电场方向上的距离。

在实际应用中，我們常取任一点 o 作为参考点，而将由某点 a 到此参考点 o 的电压 U_{ao} 称为 a 点的电位，用 φ_a 表示。

即
$$\varphi_a = U_{ao} = \int_a^o \vec{E} \cdot d\vec{l}$$

电位的概念与重力场中势能的概念相仿。它的数值随着所取参考点的不同而不同，一般我們取地面或无穷远处为参考点，令它们的电位等于零。

由电位的定义得到：

$$\varphi_a - \varphi_b = \int_a^o \vec{E} \cdot d\vec{l} - \int_b^o \vec{E} \cdot d\vec{l} = \int_a^b \vec{E} \cdot d\vec{l} = U_{ab}$$

或写成：
$$U_{ab} = \varphi_a - \varphi_b \quad (1-6)$$

即从 a 点到 b 点的电压等于 a 点和 b 点的电位差。从此式可以看到，电压的数值与电位参考点的选定无关。

电压是一个代数量，我們规定从高电位到低电位为正，反之为负。

电位、电位差及电压的单位在 *MKSA* 合理化单位制（实用单位制）中，均为伏特，简称伏（或用 V 表示）。在电场中的二点間移动一库仑的电量所作的功为一焦耳时，此二点間的电压就是一伏特。

計量很小的电压时可用毫伏（ 10^{-3} 伏）及微伏（ 10^{-6} 伏）作为单位，毫伏用 mV 表示，微伏用 μV 表示，在計量高电压时可用仟伏（ 10^3 伏）作为单位，用 KV 表示。

日常所用的电灯电压为 220 伏或 110 伏；铅蓄电池的电压近于

二伏；市区或农村输电用的电压大都是6600伏（即6.6千伏）。

§ 1-3 电流与电势

金属内的自由电子、电解质内的正、负离子一般都处于不规则的运动状态。如果在电场力的作用下，则它们除了不规则的运动外还作定向运动。这些自由电荷（电子和离子）在电场力的作用下定向的运动就形成了电流。

电流的方向我们用导体内正电荷的移动方向来表示；电流的强弱用电流强度来计量。电流强度的定义是单位时间内通过导体截面上的电量。电流强度简称为电流，用 I 或 i 表示。必须注意：今后提到的电流这一名词不仅代表一种物理现象，而且也代表一种物理量。

若在极短的时间 dt 内流过截面 S 的电量为 dq ，则电流强度为：

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1-7)$$

不随时间而变化的电流称为恒定电流，或称为直流。在时间 t 内，通过截面的电量为 Q 时，则有：

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

电流的单位在实用单位制中为安培，简称安（用 A 表示）。

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

在一秒钟内，通过导体截面的电量为1库仑时，导体内通过的电流为一安培。

在计量微小电流时，以毫安（ 10^{-3} 安）或微安（ 10^{-6} 安）作

为单位,毫安以 mA 表示,微安以 μA 表示。

日常用的电灯电流为0.25—1安之間;电車的电流約为100安;人身上流过0.05安的电流即有生命危險。

我們知道靜电場可以促使电荷进行移动而产生电流,此时正电荷从高电位处向低电位处运动,这种运动的结果便改变了产生靜电場的电荷分布情况,因而也就改变了各处的电場强度和电位,这样就不可能保持固定的电流。要維持固定电流,必須有一个外力,这个外力能使正电荷从另外一条道路自低电位处流向高电位处,我們称此外力为局外力。局外力移动电荷时,需反抗电場力作功,因而需消耗能量,这种能量是由其他形式的能(机械能、化学能等)轉換而来的。可以把其他形式的能量轉換为电能的装置称为电源。发电机、蓄电池等就是常見的电源。

在局外力 F_o 的作用下,导体內的电荷要发生移动,如图1—4,因而形成电場。电場形成后,电荷移动时,要受到两种力的作用,即局外力 F_o 和电場力 F_e ,这两个力的方向相反,并且局外力 F_o 与电場的形成无关,而电場力 F_e 却随着电場的增强而变大,因而最后要达到平衡状态,此时 $F_e = F_o$ 。在平衡状态下,导体內不发生电荷移动,导体的兩端将有一端带正电荷而另一端带負电荷。此时,导体 ab 成为一个电源。

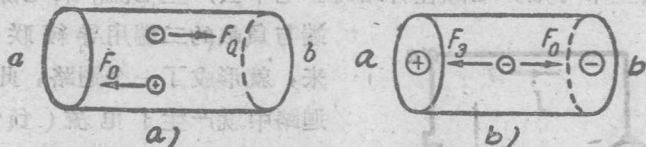


图1—4 电荷受場力和局外力的作用图

局外力移动电荷需作功,从 b 到 a 所作的功为:

$$A = \int_b^a F_o \cdot dl$$

相类似于电压的定义,我们把单位正电荷在局外力的作用下,从 b 点移到 a 点,局外力所做的功定义为 b 到 a 的电动势 E_{ba} (简称电势)。电势的符号用 E 或 e 表示。

$$E_{ba} = \frac{A}{Q} = \frac{1}{Q} \int_b^a \vec{F}_o d\vec{l} \quad (1-8)$$

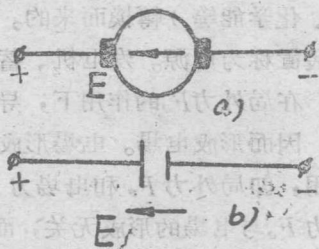
当平衡时,即 $F_o = F_{\text{源}}$, 它们的作用方向相反, 于是:

$$E_{ba} = \frac{1}{Q} \int_b^a \vec{F}_o d\vec{l} = \frac{1}{Q} \int_a^b \vec{F}_{\text{源}} d\vec{l} = U_{ab} \quad (1-9)$$

由上式可知,在平衡条件下(电流为零时),电势的数值等于电源的端电压。

电势的单位为伏特。电势的方向我们规定为从低电位指向高电位。

图 1-5 中表示了电源的符号。(a) 为发电机。(b) 为蓄电池。



1-5 电源的符号

§ 1-4 欧姆定律

由上节可知,电源在开路时,它不会产生电流。若电源的二端与负载的二端用导线联接起来,就形成了一个回路,此时在回路中就产生了电流(负载是将电能变为其他形式能量的装置)。由电源及同它联接着的导线和负载所组成的回路称为电路。最简单的电路如图 1-6 所示。

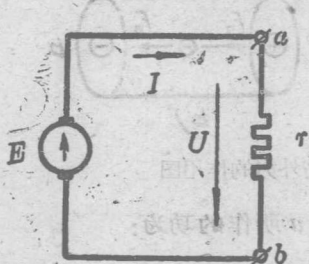


图 1-6 最简单的电路

我們知道，电路內的电流是由电动势的作用所产生的，并且电源的电动势与电路中的电流存在着正比的关系。

$$\text{即 } I = \frac{E}{r} \quad (1-10)$$

此式称为欧姆定律。式中 r 指整个电路中的电阻。欧姆定律不仅适合于整个电路，也可以应用于不包括电源在内的任何一段 ab 上，此时：

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

式中 U 为这一段电路首尾二端之间的电压， r 为这一段电路的电阻。图 1—6 所示的简单电路中，忽略了电源的内电阻和连接导线电阻时，整个电路的电阻和 ab 电路上的电阻相等。

在实用单位制中，电阻的单位为欧姆，简称欧，用 Ω 表示。

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

(1—11) 式可写成：

$$U = Ir \quad (1-12)$$

此式说明，当电流通过电阻时引起的电压降落，其数值等于电流与电阻的乘积。 U 即是我们通常所称的电压降。

在实际电路中电源不仅输电给一个电阻，而且要同时输电给很多电阻。这些电阻往往要适当的联接起来。其中最简单的联接方法是串联和并联。

如果要使各个电阻上通过相同的电流，则必须不分支地将电阻一个接一个的联接起来，这种联接方法称为串联。图 1—7a 表示了三个电阻的串联电路，我们假设图中 a 、 b 、 c 、 d 各点的电位分别为 φ_a 、 φ_b 、 φ_c 、 φ_d 。因为电阻是串联的，因而通过每

个电阻的电流应该相等。设其电流为 I ，则：

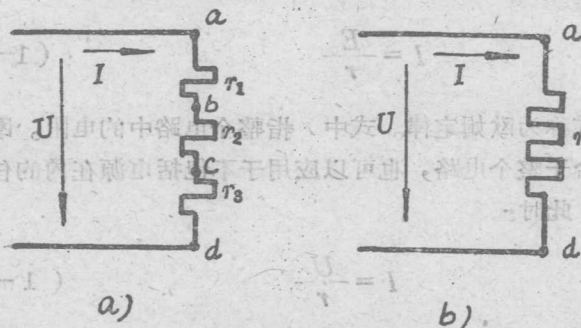


图1-7 电阻的串联和它的等值电阻

$$I = \frac{\varphi_a - \varphi_b}{r_1} = \frac{\varphi_b - \varphi_c}{r_2} = \frac{\varphi_c - \varphi_d}{r_3} \quad (1-13)$$

如果将这三个电阻看成为一个总体 (图1-7b)，则：

$$I = \frac{\varphi_a - \varphi_d}{r} \quad (1-14)$$

式中 r 为串联电路的等值电阻。

由 (1-13) 和 (1-14) 二式很容易得出：

$$r = r_1 + r_2 + r_3 \quad (1-15)$$

由式 (1-15) 得：串联电路的等值电阻等于串联电路中各个电阻的总和。其

如果要各个电阻上受到相同的电压，那么必须将各个电阻的一端接到电路的一点，而它们的另一端接到电路的另一点，这样在电路的那两点间便接入许多电阻。这种联接方法称为电阻的并联。例如照明用的电灯就是用并联的连接方法。图1-8a所示的电路为三个电阻的并联电路。