



电工 技术

DIANGONGJISHU

前 言

为了适应电气化的蓬勃发展，满足电工的急需，我们编写了《电工技术》。

本书由赵宝山同志供第一稿，后经张瑞华同志全面修改，系统整理而成。全书共三篇。第一篇讲述了电工理论基础知识；后两篇，根据作者多年的实践经验和体会，密切联系电力生产实际，重点介绍了电网涉及到的有关技术问题、常见电工计量和安全用电知识。同时还编入了本行业的有关标准和技术数据，以便广大电工借用。

此书从基础到一般，从理论到实际，内容系统完整。结合内容编入许多例题、插图，每章后又有思考题和习题。所以它不仅是一本电工培训教材，也是一本电工难得的自学用书。

该书在编写过程中，曾得到不少同志的支持和帮助，在此谨表谢意。

由于水平有限，不妥之处，敬请广大读者批评指正。

编者

目 录

第一篇 电工基础知识

第一章 直流电路.....	(1)
第一节 电路的基本知识.....	(1)
第二节 欧姆定律.....	(9)
第三节 电路的串联、并联和混联.....	(11)
第四节 克希荷夫定律.....	(18)
第五节 电功率、电能和电流的热效应.....	(21)
第二章 磁、电磁和电磁感应.....	(27)
第一节 磁、电流的磁场及磁场对电流的作用.....	(27)
第二节 电磁感应、自感与互感.....	(37)
第三章 交流电路.....	(46)
第一节 正弦交流电.....	(46)
第二节 单相交流电路.....	(50)
第三节 三相交流电路.....	(64)

第二篇 农村电力网及电器设备

第四章 电力生产及农村电网.....	(74)
第一节 发电厂及电力网.....	(74)

第二节	电力生产的特点	(79)
第三节	我国的电压等级及额定电压	(79)
第四节	农村电力负荷的特点	(81)
第五节	农村电力架空线路	(87)
第六节	室内外布线及配电装置	(132)
第五章	三相异步电动机	(160)
第一节	异步电机的构造及转动原理	(161)
第二节	异步电机的起动	(167)
第三节	异步电机的运行及维护	(179)
第四节	三相异步电机的定子绕组及故障检查	(187)
第五节	异步发电机	(203)
第六章	变压器	(209)
第一节	变压器的分类及结构	(209)
第二节	变压器的工作原理	(218)
第三节	变压器的极性及接线组别	(219)
第四节	用分接开关调整电压	(222)
第五节	配电变压器的安装	(223)
第六节	变压器的保护装置	(229)
第七节	变压器的并联运行	(238)
第八节	配电变压器的运行	(239)
第九节	仪用互感器	(244)

第三篇 电工计量及安全用电

第七章	常用电工仪表及电工计量	(250)
------------	--------------------	--------------

第一节	对电工仪表的要求	(250)
第二节	电工仪表常用符号、图形及表示意义 ...	(251)
第三节	电流及电压的测量	(253)
第四节	电功率及电量的测量	(260)
第八章	安全用电	(268)
第一节	接地与接零	(268)
第二节	触电及触电伤害	(269)
第三节	触电急救	(274)

第一篇 电工基础知识

第一章 直流电路

第一节 电路的基本知识

一、电路的组成和作用

能使电流通过的闭合回路称做电路。它由电源、负载、导线和开关等部分组成。图1-1和图1-2是最简单的实物图与电路图。

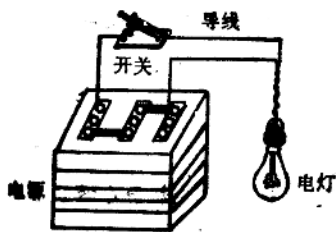


图 1-1 实物图

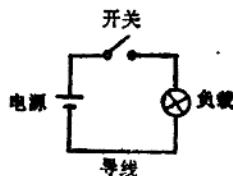


图 1-2 电路图

电源能把其他形式的能量转换成电能，例如发电机能将机械能转换成电能，电池能将化学能转换成电能。用电器在

电路中又叫负载，是将电能转换成其他形式能的设备，例如电动机是将电能转换成机械能的设备，电灯可以把电能转换成光能。导线用来连接电源和负载以构成电流的通路，它可将电源的能量传送给负载。导线常用的是铜线或铝线。开关又称“电门”，它是控制电路通断的元件，当开关闭合后，可以把它看作是导线的一部分。

在实际电路中，往往还接有其他设备，例如熔丝、测量仪表等，分别作保护、测量及监视电路用。

在电源中，电源力可以把正电荷由它的负极移向正极，即把正电荷由低电位移向高电位。这与水泵将水由低水位提到高水位相似。在这个过程中电源中的其他能量克服电场力做功，而转换成电能。在负载中，电场力能把正电荷由高电位移向低电位，将电能转换成其他形式的能量。电路的作用就是为电能转换、传送、分配和控制提供条件。

在电能的转换、传送、分配和控制中，常用到电流、电压、电动势及电阻等几个物理量。所以在分析电路之前应先讨论一下这几个基本物理量。

二、电流

1. 电流的形成

物质内部存在着能够自由运动的自由电子（带负电荷）和离子，称做自由电荷，自由电荷作定向运动形成电流。某些溶液中存在正、负离子，如果给它们外加一定的条件（如接上电源），则这些带电粒子将在电场的作用下，作定向运动，正电荷按照电场的方向运动，而负电荷则按相反的方向运动。

方向运动，这样在液体内部及连接电源的导体上形成电流。因此说，物体内的自由电荷是产生电流的内因，作用在物体之外的电场（或电压）是产生电流的外因。

2. 电流的方向

电流的方向，规定为正电荷的运动方向，如图 1-3 所示，即电流的方向是从电源的正极经导线、负载，流向电源负极的。实际上，自由电子的移动方向与此相反。



图 1-3 电流的方向

3. 电流强度

电流强度是衡量电流强弱的物理量。通过导线某一截面电流强度的大小，等于单位时间内通过该截面的总电荷量。

电流又分为直流电和交流电两种。方向和大小不随时间变化的电流，叫做直流电；方向和大小随时间而变化的电流，叫做交流电。直流电可以从干电池、蓄电池及直流发电机中获得。交流电可以从交流发电机中获得。

电流强度可以示为：

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

式中 I ——电流强度（安）；

Q ——电荷量（库仑）；

t ——时间（秒）。

如果一秒钟内通过导体截面的电荷量为 1 库仑（即

6.25 × 10¹⁸个电子所带的电量)，则这时通过导体的电流为1安培，用字母“A”表示。实用中，还有以千安(kA)、毫安(mA)或微安(μA)作单位的。它们之间的关系是：

$$1 \text{ 千安(kA)} = 1000 \text{ 安(A)}$$

$$1 \text{ 安(A)} = 1000 \text{ 毫安(mA)}$$

$$1 \text{ 毫安(mA)} = 1000 \text{ 微安(μA)}$$

4. 导体和绝缘体

导体和绝缘体是相对而言的，导电性能较好的物体称导体，如各种金属、酸、碱、盐的水溶液以及大地、人体等；导电性能较差的物体称为绝缘体，如橡胶、塑料、玻璃、云母、陶瓷、电木、油类以及干燥的木材、纸张、丝绸、空气等物体。

外界条件改变，绝缘体导电性能也会改变，例如空气在常温下是绝缘体，但是，在高温或高电压的作用下，内部的自由离子不断地增多，气体分子被电离成为离子，成为导体。高压线的放电就是一个例证。

有些物质的导电性介于导体和绝缘体之间，这些物质称为半导体，如锗、硅、硒等。随着科学事业的发展，半导体正日益广泛地应用于工农业生产、国防和科学文化教育事业等方面。

三、电位、电压和电动势

1. 电位与电压（电位差）

众所周知，导体中虽有自由电子、离子，没有外加一定的条件，在导体中也不会形成电流。这与水相似，只有水而

没有水位差，水是不会流的。同样要产生电流，必须有电位差。带电体电位的高低与所带电荷的正负、多少有关。一般约定大地的电位为零电位，带正电荷的物体具有正电位，比大地的电位高，并且正电荷越多电位越高。反之，带负电荷物体的电位比大地的电位低，其负电荷越多，电位越低。

在电场中，各点对零电位而言都具有不同的电位，任意两点之间的电位差，又叫做电压。电位差（即电压）在数值上等于电场力把单位正电荷从某一点移到零电位点所做的功。由于零电位可以任意选择，所以电位的数值是相对的，它与零电位的选择有关。

由于电流的方向是由高电位到低电位，所以有电流流动的地方，必然产生电位的降低，这种现象叫做电位降，又称电压降。因此，电压降的方向也是从高电位点指向低电位点的。在电场中， a 、 b 两点之间的电压为 a 点的电位 ϕ_a 与 b 点的电位 ϕ_b 之差 $(\phi_a - \phi_b)$ ，通常用 U_{ab} 表示。

2. 电动势

水泵可以将低水位变成高水位。与此相似，电源内部，在电源力的作用下，正电荷由负极移向正极，即由低电位移向高电位。大量的正电荷积聚在正极上，负电荷积聚在负极上，这样就分别形成了电源的正、负两极，两极间的电位差，叫做电势差，又叫做电动势，简称电势。由于在电源内部，电流是由低电位流向高电位，所以又叫电位升，它的方向是由负到正。其数值等于单位正电荷从电源的负极移到正极所做的功，用符号 E 表示，单位为伏特，简称伏。

以上所述的电位、电压、电动势的单位，都是伏特，用字母“V”表示。在实用中还有千伏(kV)、毫伏(mV)或微伏(μ V)，它们之间的关系是：

$$1 \text{ 千伏(kV)} = 1000 \text{ 伏(V)}$$

$$1 \text{ 伏(V)} = 1000 \text{ 毫伏(mV)}$$

$$1 \text{ 毫伏(mV)} = 1000 \text{ 微伏}(\mu\text{V})$$

四、电阻

影响自由电子定向运动的诸因素形成电阻，用字母R表示。电阻的大小与很多因素有关，例如物质、温度、光照度以及电场强度等。电源本身也有电阻，通称内电阻，简称内阻，用字母 r_0 表示。

1. 导体的电阻

当电流通过导体时，导体对电流产生一种阻力，这种阻力称为导体的电阻。

电阻的单位为欧姆，简称欧，用字母 Ω 表示。实用中还有千欧(k Ω)或兆欧(M Ω)，它们之间的关系是：

$$1 \text{ 兆欧(M}\Omega\text{)} = 1000 \text{ 千欧(k}\Omega\text{)}$$

$$1 \text{ 千欧(k}\Omega\text{)} = 1000 \text{ 欧}(\Omega)$$

金属导体的电阻与其长度成正比，与其横截面积成反比，在常温(20℃时)下，导体的电阻为：

$$R = \rho \frac{l}{s} \quad (1-2)$$

式中 R ——导体的电阻(欧)；

l ——导体的长度(米)；

S ——导体的截面积(毫米²)；

ρ ——导体的电阻率(欧·毫米²/米)。

导体电阻率 ρ 的数值取决于导体的材料，不同的导体材料有不同的 ρ 值。某种导体材料的电阻率，是指长度为1米，截面积为1平方毫米的均匀导体，在温度20℃时所具有的电阻值。经常用到的几种导电材料的电阻率列入表1-1中。从表中可看出，导电能力较好的为银、其次是铜和铝。前两种为贵重金属，不能满足工业和电力发展的需要，而铝的比重轻，价格便宜，所以，现在已广泛采用以铝代铜制作导线，来满足电力工业发展的需要。

2. 温度对导体电阻的影响

公式(1-2)是导体在20℃时的电阻计算公式，实践证明同一种物质在不同温度下，具有不同的电阻值，如金属材料温度升高时，电阻值将增大，而石墨、碳及电解液则相反。也有一些合金，如康铜及锰铜等的电阻，受温度的影响不大，比较稳定，所以常用来制作标准电阻，如变阻器及仪表中的分流器，倍压器等。

在实际应用中，常常需要计算出在不同温度下导体的电阻值，这就需用电阻平均温度系数“ α ”。 α 是指当温度变化1℃时导体电阻变化的数值与原来电阻数值的比值。它的单位是1/℃。常用几种导体的平均温度系数也列入表1-1中。

表1-1 几种常用导电材料的电阻率和平均温度系数

材 料	电阻率 (欧·毫米 ² /米)	平均温度系数 (1/℃)
银	0.016	0.004
铜	0.0175	0.004
铝	0.029	0.004
钨	0.055	0.0046
钢	0.13~0.25	0.006
铁	0.13~0.3	0.006
黄 铜	0.07~0.08	0.002
青 铜	0.021~0.4	0.004
锰 铜	0.42	0.000006
康 铜	0.4~0.51	0.000005
镍 铬	1.1	0.00015
铁铬铝	1.4	0.00005

温度变化，用平均温度系数可以算出变化后导体的电阻值。如温度为 t_1 时，导体的电阻值为 R_1 ，当温度变化到 t_2 时，导体电阻值为 R_2 ，则温度系数：

$$\alpha = \frac{R_2 - R_1}{R_1(t_2 - t_1)} \quad (1-3)$$

将式(1-3)变换后可得：

$$R_2 = R_1[1 + \alpha(t_2 - t_1)] \quad (1-4)$$

〔例1-1〕在环境温度为25℃时，测得某台电机绕组(铜导线)的电阻值是0.38欧，运行了一段时间后(温度已达到稳定)停车，立即测得电机绕组的电阻值为0.48欧，求这时

绕组的温度是多少？

解：查表1-1可知，铜的温度平均系数 $\alpha=0.004$ ($1/^\circ\text{C}$)，
由公式(1-4)可得：

$$t_2 = \frac{R_2 - R_1}{\alpha R_1} + t_1 = \frac{0.48 - 0.38}{0.004 \times 0.38} + 25 = 90.8^\circ\text{C}$$

由此可知，该电机运行一段时间后，绕组的温度已达到
 90.8°C 。

第二节 欧姆定律

欧姆定律是描述电路中电流、电压和电阻三个物理量之间关系的定律，是电路的基本定律之一，在实际中应用极为广泛。

一、局部电路欧姆定律

所谓局部电路，就是不包含电动势的电阻电路。实践证明，在局部电路中，当导体温度不变时，通过导体的电流与导体两端的电压成正比，而与其电阻成反比，这就是局部电路欧姆定律，用公式表示即：

$$I = \frac{U}{R} \quad (1-5)$$

式中 I ——流过导体的电流（安），

U ——导体两端的电压（伏），

R ——导体的电阻（欧）。

在局部电路中，电流的方向总是与电压降的方向一致，即顺

着电流的方向产生电压降。其压降数值为 IR 。换句话说，一段电路上的电压，在数值上等于通过导体的电流 I 和这段导线的电阻 R 的乘积。

在工程上，为了便于表达和计算，导体的导电程度也用电阻的倒数 G 来表示，称为电导即：

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

电导的单位为西门子（简称西），用符号 S 表示。导体的电导越大，说明导电能力越强。

二、全电路的欧姆定律

所谓全电路，就是包含电源的闭合电路，如图1-2所示。这种电路由内电路（即电源内部的电路）和外电路（包括导线、开关和负载）组成。实验证明，全电路中的电流大小与电源的电动势 E 成正比，而与内、外电路电阻之和 $(r_0 + R)$ 成反比，这就是全电路欧姆定律。用公式表示：

$$I = \frac{E}{r_0 + R} \quad (1-7)$$

$$\text{或} \quad E = I(r_0 + R) = Ir_0 + IR = U_n + U \quad (1-8)$$

$$\text{或} \quad U = E - U_n = E - Ir_0 \quad (1-9)$$

式中 r_0 ——电源的内阻（欧）；

R ——外电路的电阻（包括导线电阻和负载电阻）；

U_n ——即 Ir_0 ，电源内阻的电压降（伏）；

U ——即 IR ，电源两端的电压（通常叫端电压）。

由公式可以看出：

1. 断路情况

当外电路电阻 $R = \infty$ 即负载是零值时，电流 I 为零。电源两端的电压在数值上等于电源电动势。这种状态叫做断路。

2. 负载增大，其两端电压下降

当 R 逐渐减少时，电流 I 逐渐增大，同时内阻 r_0 上的压降也逐渐增大，端电压 U 则逐渐下降，这就是当负载逐渐增大（负载电阻数值减少）而负载两端电压下降的道理。

3. 短路情况

当 $R = 0$ 时，通过电路的电流 $I = \frac{E}{r_0}$ ，达到最大值，这种状态叫做短路。短路电流比正常的工作电流要大许多倍，这样容易烧坏电器设备。

4. 最大功率条件

当 $R = \infty$ 时，外电路为断路状态，负载获得的电功率为零值。 $R = 0$ 时，外电路为短路状态，负载获得的电功率仍为零值。不难看出，当 $R = r_0$ 时，负载可以获得最大功率，这就是最大功率条件。

第三节 电路的串联、并联和混联

一、串联电路

把两个以上的电器元件头尾依次连接，就组成串联电

路，如图(1-4)所示。

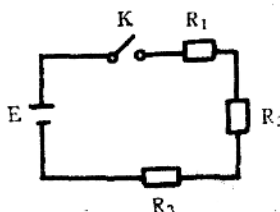


图 1-4 串联电路图

串联电路的特点是：

1. 电流值

串联时，流过各元件的电流
数值都相等。

2. 电压值

串联时，总电压 U 等于各元

件上分电压之和，即

$$\begin{aligned} U &= U_1 + U_2 + U_3 + \cdots + U_N \\ &= IR_1 + IR_2 + IR_3 + \cdots + IR_N \end{aligned} \quad (1-10)$$

由式(1-10)可以看出，电阻值越大的元件上分得的电压越高。这就是串联电阻的分压原理。

3. 电阻值

串联电路的总电阻等于各元件电阻之和，用 R 代表总电阻则有：

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \cdots + R_N \quad (1-11)$$

R 又称为等效电阻。所谓等效，就是用这个数值的电阻代替原电路中的 N 个电阻，能使电路的总电压和电流保持不变。应用串联电路的这三个特点，可以达到限流，分压和降压的目的。还可用以扩大电压表的量程。

〔例1-2〕 有一磁电系表头，如图1-5所示：满偏电流 $I_a = 50$ 微安，内电阻 $R_a = 3$ 千欧，若改装成最大量程为 10 伏的电压表，应串联一个多大的分压电阻？