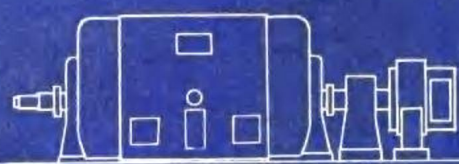


小型火力发电厂 电气设备及运行



西安电力学校

水利电力出版社

内 容 提 要

本书主要内容是介绍发电机容量为1500~3000千瓦的小型火力发电厂的电气设备及其运行。全书共分五篇，首先叙述了电工基础知识，然后叙述电机、变压器以及发电厂的一次设备(高低压电器、主电路及厂用电路、防雷保护)和二次设备(仪表、继电保护、二次回路等)，除对同步发电机的运行问题专门提出在最后叙述以外，其它设备的运行问题分别在各章中叙述。

本书可供具有相当于初中文化程度的小型火力发电厂电气运行工人学习之用，也可供从事这方面工作的其他同志参考。本书对小型水电站和35千伏变电所的电气运行人员也有参考价值。

小型火力发电厂 电气设备及运行 西安电力学校

*

水利电力出版社出版

(北京德胜门外六铺炕)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

中国建筑工业出版社印刷厂印刷

*

1974年12月北京第一版

1974年12月北京第一次印刷

印数 00001—30,400 册 每册 1.50 元

书号 15143·3084

毛主席语录

路线是个纲，纲举目张。

鼓足干劲，力争上游，多快好省
地建设社会主义。

打破洋框框，走自己工业发展道
路。

前 言

在毛主席和党中央的英明领导下，批林整风运动已经取得了伟大的胜利，通过批林整风，深入批判了林彪一伙的反革命修正主义路线，全国人民的阶级斗争、路线斗争和继续革命的觉悟空前提高，革命团结更加坚强，我们伟大祖国的社会主义革命和建设事业正胜利地沿着毛主席的革命路线阔步前进。

由于认真贯彻执行了毛主席制定的“鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义”的总路线和“以农业为基础、工业为主导”的发展国民经济总方针，电力工业出现了一派欣欣向荣、蓬勃兴旺的景象。

建国以来，特别是无产阶级文化大革命以来，随着工农业生产的蓬勃发展，对电力的需要量急剧的增长。为了适应这种形势，全国各地在建设大、中型发电厂的同时，因地制宜地建设了一批小型火力发电厂，为发展我国社会主义建设事业增添了新的动力。为了保证小型火力发电厂安全、经济发供电，发挥应有的效益，我们遵照伟大领袖毛主席关于“教育必须为无产阶级政治服务，必须同生产劳动相结合”的教导，在举办了两期小型火力发电厂电气运行人员培训班的教育革命实践基础上，编写了《小型火力发电厂电气设备及运行》一书，供小型火力发电厂电气运行人员及从事这方面工作的其他同志在工作和学习中参考。

由于我们路线斗争觉悟不高，业务水平有限，实践经验缺乏，书中不妥或错误之处在所难免，恳切希望同志们批评指正。

本书在编写过程中，曾得到陕西省大荔电厂，河南省济源电厂、周口电厂、信阳电厂，山东省滕县电厂、荣成电厂、掖县电厂等单位，以及陕西、河南、山东等省的电力设计部门的大力协助，提供了很多有益的资料和经验，许多工人同志为我们仔细审阅书稿，提供了宝贵的意见。在此，我们谨向所有这些单位和同志们表示衷心地感谢。

西安电力学校电力教研室

1973年12月

目 录

前 言

第一篇 电 工 基 础

第一章 直流电路	1
第一节 从物质的结构认识电的来源	1
第二节 静电场的概念	2
第三节 直流电路的基本概念	3
第四节 欧姆定律、导体的电阻	6
第五节 克希荷夫定律	9
第六节 电功、电功率及电流的热效应	10
第七节 电阻的串联与并联	12
第八节 电容器及其充放电过程	15
第二章 电磁和电磁感应	18
第一节 磁的基本知识	18
第二节 电流的磁效应	20
第三节 铁磁性材料的磁化	22
第四节 磁场对通电流导体的作用力	23
第五节 电磁感应	25
第三章 单相正弦交流电路	30
第一节 概 述	30
第二节 正弦交流电势的产生及其特点	30
第三节 交流电的相位角、初相角和相角差	32
第四节 交流电的有效值	34
第五节 正弦交流电的向量表示法	35
第六节 交流电路引言	36
第七节 纯电阻电路	37
第八节 纯电感电路	38
第九节 纯电容电路	42
第十节 电阻和电感串联电路	45
第十一节 电阻和电容串联电路	47
第十二节 电阻、电感和电容串联电路	48
第十三节 交流并联电路	51
第四章 三相交流电路	55
第一节 三相交流电势的产生及其特点	56

第二节 三相电源的连接·····	57
第三节 三相负载的连接·····	59
第四节 三相电路的简单计算·····	62
第五节 三相电路的功率·····	63

第二篇 电 机

第五章 变压器·····	65
第一节 概 述·····	65
第二节 变压器的基本原理和构造·····	66
第三节 变压器的空载运行、负载运行及短路试验·····	70
第四节 变压器的极性和三相变压器的接线组别·····	73
第五节 变压器的并列运行·····	76
第六节 变压器的运行和事故处理·····	78
第六章 直流发电机·····	82
第一节 直流发电机的原理及构造·····	82
第二节 直流发电机的电枢绕组·····	87
第三节 直流发电机的电枢反应及换向磁极的作用·····	91
第四节 直流发电机的特性及其电压的建立·····	94
第五节 直流发电机的运行维护及事故处理·····	97
第七章 同步发电机·····	98
第一节 概 述·····	98
第二节 同步发电机的原理及旋转磁场·····	99
第三节 同步发电机的构造·····	105
第四节 交流电机的定子绕组·····	108
第五节 同步发电机的电枢反应及特性·····	110
第六节 同步发电机的并列及负荷调节·····	114
第八章 异步电动机·····	120
第一节 异步电动机的构造·····	121
第二节 异步电动机的工作原理和特性·····	123
第三节 异步电动机的起动·····	126
第四节 异步电动机的运行与维护·····	129

第三篇 发电厂的一次部分及防雷

第九章 高低压电器·····	132
第一节 开关设备中电弧的产生和熄灭·····	132
第二节 低压开关及熔断器·····	134
第三节 高压开关及互感器·····	141
第十章 发电厂主电路和厂用电路·····	151
第一节 发电厂主电路·····	151

第二节	发电厂厂用电	155
第三节	发电厂主电路和厂用电电路实例	158
第十一章	发电厂的防雷保护	161
第一节	防雷工作的重要性	161
第二节	防雷设备	163
第三节	发电厂、变电站的防雷保护	167

第四篇 发电厂的二次部分

第十二章	电工仪表及其测量	171
第一节	常用电工仪表的标志符号	171
第二节	磁电式仪表及直流电流和电压的测量	172
第三节	动铁式仪表及交流电流和电压的测量	174
第四节	电动式仪表及功率的测量	176
第五节	电度表和电能的测量	180
第六节	功率因数表、频率表和同期指示表	184
第七节	小型火电厂电气仪表配置情况概述	187
第八节	万用表和兆欧表	188
第十三章	继电保护装置	191
第一节	关于继电保护的基本知识	191
第二节	小接地电流电网的绝缘监察装置	196
第三节	6~10KV输电线路的继电保护	199
第四节	容量为1500~3000KW汽轮发电机的继电保护	207
第五节	升压变压器的继电保护	222
第六节	厂用变压器的继电保护	231
第十四章	操作电源	236
第一节	概述	236
第二节	起动型铅蓄电池及其充电设备	237
第三节	合闸用整流设备	245
第四节	操作电源电路图及其工作方式	252
第五节	直流操作电网的供电电路	255
第十五章	操纵、信号、同期装置	258
第一节	二次接线图的基本概念	258
第二节	操纵电路和信号装置	267
第三节	发电厂的同期回路	280
第十六章	自动装置及发电机二次电路总图例	286
第一节	自动重合闸装置	286
第二节	继电强行励磁装置	292
第三节	自动调节励磁装置	295
第四节	发电机二次回路接线全图	297

第五篇 同步发电机运行及事故处理

第十七章 同步发电机的许可运行方式	305
第一节 铁芯和线圈的容许温度	305
第二节 冷却空气温度变动时的运行方式	306
第三节 电压变动时对运行的影响	307
第四节 频率变动时对运行的影响	308
第五节 功率因数变动时的运行方式	309
第六节 负荷不平衡的容许范围	310
第七节 负荷增长速度的规定	311
第八节 容许的过负荷范围	312
第九节 绝缘电阻的测量及容许值	313
第十八章 同步发电机操作及运行维护	314
第一节 发电机起动前的准备工作	314
第二节 发电机的起动	315
第三节 发电机的升压、同步和并列	316
第四节 发电机接带负荷与调整负荷	317
第五节 发电机在运行中的监视	319
第六节 发电机的解列与停机	323
第十九章 同步发电机的事故分析及处理方法	324
第一节 发电机非同期并列	324
第二节 线圈和铁芯温度过高	327
第三节 发电机内部绝缘故障	328
第四节 发电机着火	329
第五节 发电机自动跳闸	329
第六节 发电机变为同步调相机运行	330
第七节 发电机失去励磁	331
第八节 励磁机逆励磁	333
第九节 发电机升不起电压	334
第十节 发电机非同期振荡	335
第十一节 频率超出容许范围	336
附录一	338
表 I 汉语拼音字母、拉丁字母及读音	338
表 II 希腊字母表	338
表 III 本书所用主要电工名词、计量单位及符号	339
表 IV 电气接线图中常用设备图形符号	340
表 V 二次接线图中常用设备文字符号	346
表 VI 国产小型汽轮发电机的技术数据	347
附录二 有关的数学知识	348

第一篇 电 工 基 础

第一章 直 流 电 路

初学电的人会感到“电”很抽象，常常提出这样的问题：电是从哪里来的？这里，按照“由浅入深”的原则，我们先从物质的结构谈起。

第一节 从物质的结构认识电的来源

人们通过长期的生产实践和科学实验，发现一切物质都是由分子组成的，分子又由原子组成。而每一个原子又由一个原子核和若干个电子所构成，这些电子按照一定的规则分布在不同的轨道上围绕原子核运动。不同物质的原子所具有的电子数目和排列方式是不一样的，图 1-1 绘出铝原子的结构示意图。实验证明，原子核带正电（阳电），电子带负电（阴电）。在通常状态下，由于原子核所带的正电量与电子所带的负电量的总和相等，所以，物体对外界不呈现带电现象。如果在某种外因作用下，使物体的原子失掉一部分电子，则物体带正电；若获得多余的电子，则物体带负电。由于物质内部包含着正电和负电这一对矛盾，因而能够在外因的作用下使物体产生电的现象，它完全符合于“外因是变化的条件，内因是变化的根据，外因通过内因而起作用”的唯物辩证法的普遍规律。

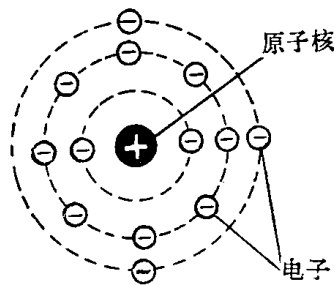


图 1-1 铝原子结构示意图

既然一切物质的原子内部包含着正电和负电，为什么有的物质容易导电，而有的物质却不容易导电呢？这是由于各种物质“其内部都包含着本身特殊的矛盾”而造成的。各种金属物质（如银、铜、铝、铁等）的原子中，处于最外层轨道上的电子与原子核之间的吸引力较弱，受到外界因素的影响就容易脱离原来原子核的束缚，在各原子之间作无规则的运动，这部分电子称为“自由电子”。由于金属内部存在着大量的自由电子，所以具有良好的导电性能。另外一些物质如橡胶、云母、塑料、陶瓷、树脂以及干燥的木材等，原子核与周围电子之间的吸引力很强，不容易使电子脱离原子核的束缚而形成自由电子，因此这类物质的导电性能极差，称为绝缘体（又称电介质）。

但是，绝缘体并不是绝对不导电的，因为“客观事物中矛盾着的诸方面的统一或同一性，本来不是死的、凝固的，而是生动的、有条件的、可变动的、暂时的、相对的东西，一切矛盾都依一定条件向它们的反面转化着。”例如绝缘材料老化或者温度过高时，其绝

缘性能就会显著降低，甚至在过高的电压之下可能击穿，导致完全失去绝缘性能。因此，对于使用不同等级绝缘材料的电机和电器，都规定了温度和电压的极限数值。

第二节 静电场的概念

一、静电场

图 1-2 中表示了一个固定在绝缘柄上的带电金属球对悬挂在附近的带电小球有作用力的现象：对带有与金属球同性电荷的小球排斥，对带有与金属球异性电荷的小球吸引。这个实验表明，物体带电之后，使其周围空间的性质发生了变化，这种状态是物体带电之前

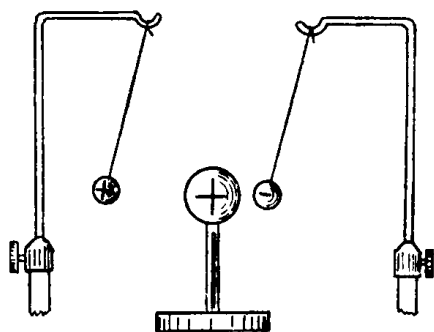


图 1-2 电场对带电小球的作用

所没有的，而且当带电体移走或者把它所带的电荷去掉之后，这种状态也就不存在了。因此，我们就把带电体周围具有电力作用的整个空间称为**电场**，而且把相对静止的电荷所产生的电场称为**静电场**。人们通过长期实践认识到，电场是物质的一种特殊形态，当其它带电体在电场力的作用下发生移动时，表示电场对带电体作了功，这说明电场中具有能量。

电场的基本表现是使处在电场中的电荷受到电场力的作用。用这种方法不仅能够检验电场的存在，而且还可以描述电场中各点的特性。例如，用一个电量为 $+q_0$ 的点电荷（为了不影响电场各点的情况，这个电荷的电量和体积应当很小，故称点电荷），依次放在电场内各点，可以观察到点电荷 $+q_0$ 所受到的电场力的大小和方向均不相同，这就表明，电场不仅有方向性，而且各点的强弱也不相同。人为规定：一个单位正电荷在电场中某点所受到的电场力的大小，称为该点的**电场强度**，以此来表示该点电场的强弱；同时，以单位正电荷所受力的方向表示该点电场强度的方向。通常都用电场强度这个物理量来表示电场内某一点的特性。

电场强度是向量，为了了解和研究电场，采用了假想的电力线来形象地描绘出电场强度的方向、大小及分布情况。绘制电力线应遵守下列原则：

(1) 电力线是按照电场中各点电场强度的方向绘制而成，它从正电

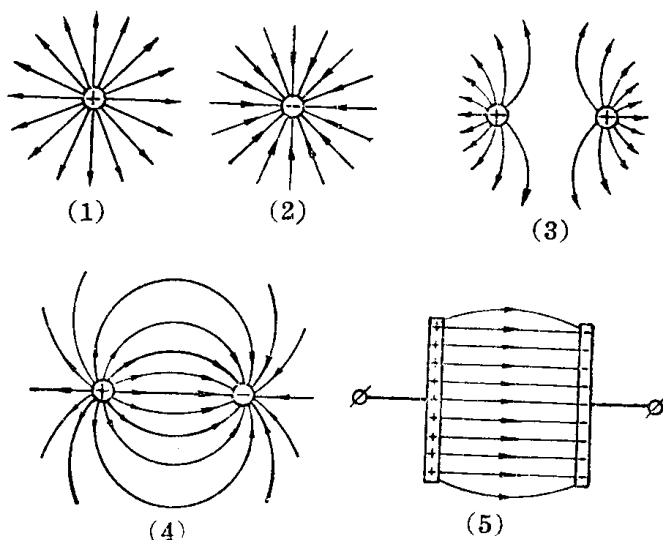


图 1-3 几种电场的电力线

(1)带正电球体的电力线；(2)带负电球体的电力线；(3)两个带正电球体的电力线；(4)带正电和带负电球体的电力线；(5)两块平行平板间的电力线

荷出发，终止于负电荷。任一点电场强度只能有一个方向，应与通过该点电力线的切线方向一致。因此，电力线不能中断，不能构成闭合回线，也不能互相交叉。

(2) 垂直通过某点每单位面积上的电力线数的多少，可表示出该点电场强度的大小。

图 1-3 中画出了几种电场的电力线。在图 1-3 (5) 所示的电场中，各点的电场强度大小相等、方向相同，称作均匀电场。

二、静电感应现象

上面讲述了电场对任何带电物体有作用力的情况。若把不带电的导体放在电场中会产生什么现象呢？如图 1-4 所示的实验，把一个不带电的金属球

(2) 放入带正电的金属球(1)所形成的电场中，金属球(2)内部的自由电子由于电场力的作用而发生移动，靠近金属球(1)的一侧出现多余的电子而带负电，背离金属球(1)的一侧则带正电，这种现象称为静电感应。

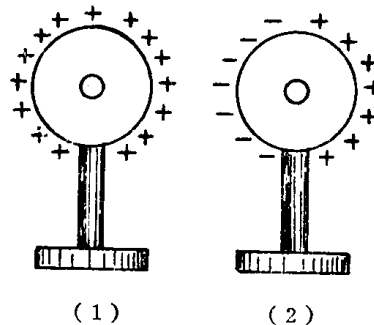


图 1-4 静电感应现象

(1)带正电的金属球；(2)不带电的金属球

第三节 直流电路的基本概念

为了掌握直流电路的基本分析和计算方法，要首先搞清下列几个基本概念。

一、直流电路的构成和电流

电路是一个整体概念，把直流电源和用电设备用导线连接成一个闭合回路，就构成了一个最简单的直流电路，如图 1-5 所示。电源是电路中供给电能的设备。直流电源一般有干电池、蓄电池和直流发电机等。用电设备有电灯、电动机等，统称为负载或负荷。

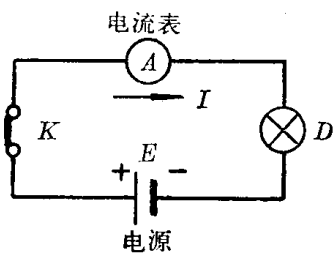


图 1-5 直流电路的构成

合上电路中的开关 K ，在电源 E 的作用下，导体内部的自由电子沿着电路连续不断地向着一个方向移动，在回路中即形成了电流，此时，灯泡 D 发亮，电流表 A 同时有指示。

电流的大小用电流强度（简称电流）表示。它的含义是：在单位时间内通过某一导体横截面的电量。如果在极短时间 Δt 内通过导体横截面的电量为 Δq ，则电流为

$$i = \frac{\Delta q}{\Delta t} \quad (1-1)$$

如果电流的大小和方向随时间变化，则称为交变电流（简称交流）；大小和方向不随时间变化的电流称为直流，用大写字母 I 表示，即

$$I = \frac{q}{t} \quad (1-2)$$

在实用单位制中，时间单位为秒，电量单位为库伦，则电流的单位为安培，简称安，用符号 A 表示。有时用千安 (KA)、毫安 (mA) 或微安 (μA) 为单位，它们之间的关系是：

$$\begin{aligned} 1\ KA &= 1000\ A, \\ 1\ mA &= \frac{1}{1000}\ A, \\ 1\ \mu A &= \frac{1}{1000}\ mA = \frac{1}{1000000}\ A. \end{aligned}$$

电路中的电流是由于导体中的自由电子（负电荷）的移动而形成的，自由电子移动的方向是从电源的负极出发，经过外电路回到电源的正极，在电源内部则由正极到负极，这样形成一个循环的路径。但是，按照习惯规定，电流的正方向是从电源的正极出发，经过外电路回到电源的负极，在电源内部则由负极到正极（见图 1-5）。显然，这样规定的电流正方向恰恰与电子移动的方向相反。由于过去已经形成了习惯，而且并不影响我们对电路的研究，因此，今后所指电流的正方向仍沿用原来的规定。

二、电位、电压和电势

电位、电压和电势这三个概念是我们经常会遇到的，而且容易混淆，因此必须搞清它们的含义以及它们之间的区别和相互关系。

1. 电位的概念

大家都知道：水是自然地从高处流向低处，这是因为高处的“水位”高，低处的“水位”低。与此相仿，电流也是从高“电位”流向低“电位”。譬如说，电池的两极具有不同的电位，正极的电位比负极的电位高，因此，当电路接通之后，电流从电池的正极出发，经过外电路回到电池的负极。任何带电物体，由于它们所带的电量和电荷的性质不同，而具有不同的电位。同时，在一个闭合电路中，各点也具有不同的电位。因此，如果不加比较地说某点位置的高低是没有意义的。譬如有两座楼房，一座是三层楼，另一座是两层楼，我们就不能孤立地说二层楼房是高还是低，只能说二层比一层高，但比三层低。所以，要想确定某点位置的高低，必须先确定一个参考点，根据这个参考点才能确定各点的高低。同样，在电路中，要确定某点电位的高低，可以任意选定电路中某一点为参考点，并假定该点的电位为零，电路中其它各点的电位都以参考点为标准来进行比较。高于零电位的点具有正电位，低于零电位的点具有负电位。如果选定的零电位点改变了，则电路中其它各点的电位数値都相应要改变。因此，电路中某点电位的数值是相对的而不是绝对的，它与参考电位点的选择有关。通常以大地作为零电位。

2. 电压的概念

电路中任意两点间的电位之差称为该两点间的电压，故电压又称电位差，用字母 U 表示。因为电压是指电路中任意两点间电位的差值，所以它与参考电位点的选择无关。必须注意电压与电位这一区别。

在电路中，只有维持一定的电压，才能使电流连续不断地流过电路。如果电路中某两

点的电位相等，即电压等于零，即使用导线把这两点连接起来，也不会有电流。图 1-6 绘出了发电厂中直流回路对地绝缘监察装置电路， V_1 、 V_2 是两个型式、参数相同的电压表， N 点接地。现在我们可以根据电位和电压的概念来分析它的工作原理。当直流回路任何一点未发生接地时， V_1 和 V_2 串联接在直流电路正、负极两端，此时 V_1 和 V_2 的读数均为直流电压的一半。如果直流回路的正极发生直接接地，正极电位与 N 点相等，则 V_1 两端电压为零，即 V_1 读数为零，而 V_2 读数为直流电源的全电压。如果是直流回路的负极接地， V_1 、 V_2 的指示与上述相反。运行人员可以根据 V_1 和 V_2 的指示来判断直流回路的接地情况。

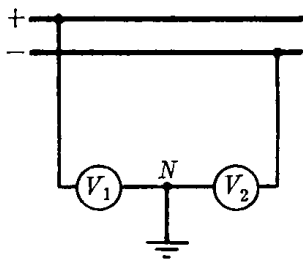


图 1-6 直流回路对地绝缘监察

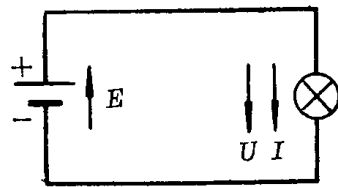


图 1-7 电流、电压、电势的方向

在今后分析电路时，需要用箭头标出电压的正方向。通常规定电压的正方向与电流的正方向一致，即从高电位指向低电位的方向，也就是“电位降”的方向，如图 1-7 所示。

3. 电势的概念

大家都知道水在水管中流动的情况，高处的水能自然地流向低处，但低处的水不会自动地流向高处。为使水管中的水连续流动，必须用水泵把水从低处打到高处，即将水泵的机械能转换为水的位能。在这里，水泵就是维持水位差的能源。同理，在电路中欲使电流连续不断，就必须有一种能源使负载两端维持一定的电位差，这个工作是由电源来完成的。

在电源内部，在其它形式能量（如机械能、化学能等）的作用下，把正、负电荷推向电源的两极，使电源两端产生一定数值的电位差，这个电位差称为电源的电动势，简称电势，用字母 E 表示。电势的正方向是由电源的负极指向电源的正极，表示“电位升”的方向，即由低电位指向高电位。如图 1-7 所示。

电源的电势和它的端电压是有区别的。电源的电势是由于电源内部其它形式能量的作用而产生的，故一般说来电势的数值是不变的。但由于电源内部都具有一定数值的电阻（这种电阻称为内阻，如发电机的绕组是用导线作成的，导线就有电阻），当电源送出电流时，在电源内阻上产生电压降，这时电源的端电压要比电势略小一些。当电源开路时，由于电流等于零，即电源内部电压降为零，这时，电源端电压的数值就等于电势。由于电源的内阻一般很小，电源的端电压与电势相差不大，所以有时就把电源的电势与端电压看作近似相等，但从概念上来讲，二者是不能混淆的。

电位、电压和电势的单位都是伏特（简称伏），以符号 V 表示，在实用中还以千伏（ KV ）或毫伏（ mV ）作单位。

$$1KV=1000V;$$

$$1mV=\frac{1}{1000}V.$$

第四节 欧姆定律、导体的电阻

一、一段电路的欧姆定律

从上节可知，电流与电压是紧密联系在一起的。为了进一步说明电路中电流与电压之间的变化规律，先看下面的实验：如图 1-8 中，改变加在一段导体 AB 两端的直流电源电压 U 的数值，并用电压表和电流表分别测量出电流 I 与电压 U 的相应数值列表如下：

U (伏)	1	2	3	4	5	6
I (安)	0.5	1	1.5	2	2.5	3

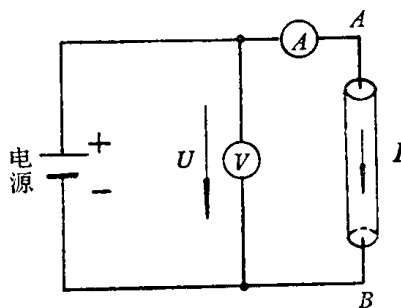


图 1-8 一段电路的欧姆定律

实验表明，通过导体的电流 I 与该导体两端所加电压 U 成正比，这个规律称为一段电路的欧姆定律。若以 R 表示比例常数，则欧姆定律的数学表达式为：

$$\frac{U}{I} = R. \quad (1-3)$$

二、导体的电阻

公式 (1-3) 中，比值 R 是反映导体对电流产生阻力的客观物理量，称为导体的电阻。电压的单位为伏，电流的单位为安，则电阻的单位为欧姆（简称欧），用符号 Ω 表示。对于大电阻常以千欧 ($K\Omega$) 或兆欧 ($M\Omega$) 为单位：

$$1K\Omega=1000\Omega;$$

$$1M\Omega=1000000\Omega.$$

在材料不同或粗细长短不同或温度不同的导体两端加相同数值的电压时，其中电流不等，这表明导体电阻的大小与下列因素有关：

1. 导体的材料

不同材料由于它们的原子结构不同，导电性能也不一样。通常用电阻率（又称电阻系数） ρ 来表示某种材料导电性能的好坏。几种常用导电材料在温度为 20°C 时的电阻率如表 1-1 所列。

2. 导体的长度和截面

同样材料的导体，长度越长电阻值越大，截面越大电阻值越小。根据实验，对于等截

面的导体，当温度不变时，其电阻按下列公式计算：

$$R = \rho \frac{l}{S}, \quad (1-4)$$

式中 R —— 导体的电阻，单位为欧(Ω)；
 l —— 导体的长度，单位为米(m)；
 S —— 导体的横截面，单位为平方毫米(mm^2)；
 ρ —— 导体的电阻率，单位为欧·平方毫米/米($\Omega \cdot mm^2/m$)。

表 1-1 几种导电材料的电阻率
与平均电阻温度系数

材料名称	电阻率 ρ ($\Omega \cdot mm^2/m$) (20°C)	平均电阻温度系数 α ($1/^\circ C$)
银	0.0162	0.0036
铜	0.0172	0.0040
铝	0.0283	0.0042
铁	0.0978	0.0057
铅	0.2220	0.0041
康铜 $Cu_{60} + Ni_{40}$	0.4900	0.000005

3. 导体的温度

同一导体在不同温度下它的电阻值不同，即导体的电阻率随温度的升降而变化。一般金属材料的电阻率随温度的升高略有增大，而石墨、碳等材料的电阻率随温度的升高而减小。为了计算在不同温度下导体的电阻值，通常用电阻温度系数 α 来进行换算。电阻温度系数的含义是：当导体温度变化 $1^\circ C$ 时，导体电阻变化的数值与原来电阻的数值的比值。例如温度为 t_1 时导体的电阻为 R_1 ，温度变到 t_2 时导体的电阻为 R_2 ，则电阻温度系数为：

$$\alpha = \frac{R_2 - R_1}{R_1(t_2 - t_1)}. \quad (1-5)$$

几种导电材料的电阻温度系数列于表1-1中。根据不同材料的 α 值，若知道 R_1 、 t_1 和 t_2 ，可按公式(1-5)求得电阻 R_2 ，或者知道 t_1 、 R_1 和 R_2 时也可以求得温度 t_2 。

例1-1 计算长为1公里，截面为 $16 mm^2$ 的铜线和铝线的电阻各为多少？

解：已知 $l = 1000m$ ， $S = 16 mm^2$ ，查表1-1得铜的电阻率 $\rho = 0.0172$ ，铝的电阻率 $\rho = 0.0283$ 代入公式(1-4)得：

$$\text{铜线电阻 } R = 0.0172 \times \frac{1000}{16} \approx 1.08 \Omega;$$

$$\text{铝线电阻 } R' = 0.0283 \times \frac{1000}{16} \approx 1.77 \Omega.$$

例1-2 一台电动机运行前，在环境温度为 $25^\circ C$ 时测得定子线圈(铜线)的直流电阻为 0.38Ω ，在额定负载下线圈温度为 $90^\circ C$ ，求此温度下线圈的电阻值。

解：已知 $R_1 = 0.38 \Omega$ ， $t_1 = 25^\circ C$ ， $t_2 = 90^\circ C$ ，查表1-1得铜的电阻温度系数 $\alpha = 0.004$ ，变换公式(1-5)得：

$$R_2 = R_1 + R_1 \alpha (t_2 - t_1),$$

并将已知数据代入上式，则：

$$R_2 = 0.38 + 0.38 \times 0.004 \times (90 - 25) \approx 0.478 \Omega.$$

最后要说明一点，在生产现场使用最多的导线是铜线和铝线，为了简化计算手续，可用下列简化公式来计算温度和电阻的关系。

$$\text{对铜导线: } \frac{R_1}{R_2} = \frac{235 + t_1}{235 + t_2}; \quad (1-6)$$

$$\text{对铝导线: } \frac{R_1}{R_2} = \frac{245 + t_1}{245 + t_2}. \quad (1-7)$$

例1-3 应用公式(1-6)计算例1-2，并比较计算的结果。

解：变化公式(1-6)得：

$$R_2 = R_1 \times \frac{235 + t_2}{235 + t_1},$$

将已知数据代入上式

$$R_2 = 0.38 \times \frac{235+90}{235+25} = 0.475 \Omega.$$

由计算可知, 用(1-5)或(1-6)式计算的结果是很近似的。

三、全电路的欧姆定律

上面讨论的是一段电路的欧姆定律, 大家很自然地会联想到, 对于包括电源在内的全电路又是怎样呢? 图1-9是一个最简单的电路, 若电源的电势为 E , 电源的内阻为 r_0 , 外电路的电阻为 R (其中包括连接导线的电阻), 则全电路中的电流 I 应等于电源的电势 E 除以电路的总电阻 (r_0 与 R 之和), 即:

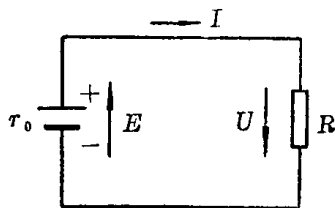


图 1-9 无分支电路

$$I = \frac{E}{r_0 + R}. \quad (1-8)$$

这个关系称为全电路的欧姆定律。公式 (1-8)

又可写成下列形式:

$$E = Ir_0 + IR = Ir_0 + U. \quad (1-9)$$

移项后得:

$$U = E - Ir_0, \quad (1-10)$$

式中 Ir_0 —— 电源内阻上的电压降;

U —— 外电阻 R 两端的电压, 也是电源的端电压。

从公式 (1-10) 可以看出, 电源的端电压等于电源的电势减去电源内阻的电压降。联系到上节所讲的电势和电压的概念, 可以进一步体会到电源的电势与端电压的区别。

例1-4 在图1-9中, 已知 $E = 48V$, $R = 4.8\Omega$, $I = 9.6A$, 计算电源的内阻 r_0 和电源的端电压 U 。

解: 根据公式(1-9)及(1-10)

$$r_0 = \frac{E - IR}{I} = \frac{48 - 9.6 \times 4.8}{9.6} \approx 0.2\Omega;$$

$$U = 48 - 9.6 \times 0.2 = 48 - 1.92 = 46.08V.$$

四、短路的概念

在电路中, 假如负载的两端或负载的某一部分被电阻很小的导线连通, 称为短路。发生短路时, 电路中的电流要比正常电流大好多倍, 它不仅使电路不能正常工作, 而且由于电流过大而损坏线路和电气设备。因此, 在电路中应装有保险器或其它保护装置。

例1-5 有一台直流发电机, 端电压为 $230V$ (发电机内阻很小忽略不计), 用截面为 $10mm^2$ 的铜导线给相距 $350m$ 的一用户供电, 负载的等效电阻为 98.8Ω 。问正常供电时发电机的电流为多大? 当负载端发生短路时, 发电机的电流变为多大?

解: 先计算线路的电阻 R_l 。因为供电线路一去一回, 故线路总长度为 $2 \times 350m = 700m$, 由公式(1-4)得:

$$R_l = 0.0172 \times \frac{700}{10} \approx 1.2\Omega.$$

由公式(1-8)得正常工作电流

$$I = \frac{230}{1.2 + 98.8} = \frac{230}{100} = 2.3A.$$

负载端发生短路时, 负载电阻为零, 此时电流

$$I' = \frac{230}{1.2} \approx 183.3A.$$

短路电流与正常电流的比值为:

$$\frac{183.3}{2.3} \approx 80,$$

即短路电流约为正常电流的80倍。

第五节 克希荷夫定律

今后我们将遇到各种形式的电路,有简单的,也有复杂的。图1-9所示的电路只包括一个电源,而且只有一个回路,这类电路称为无分支电路。分析和计算这类简单电路时,应用欧姆定律就可以解决问题了。但是有些较复杂的电路,如图1-10所示的有分支电路,直接应用欧姆定律去计算就比较困难。因此,在欧姆定律的基础上再介绍电路的两个基本定律。

一、克希荷夫第一定律

直流电流在通过一段无分支的电路时,不论各处导体的横截面是否相等,在同一时间内通过该段电路任意横截面的电流必须相等。否则,将会在电路的某一段使电荷无限堆积起来,显然这是不可能的。上述规律称为电流的连续性。

图1-10所示的电路中,有三个电阻 R_1 、 R_2 和 R_3 分别接到电源 A 、 B 两端,形成一个分支电路。 A 点和 B 点各有四条导电通路汇结在一起,每一条导电通路称为一个支路。凡三条或三条以上支路的汇结点称为结点。根据电流的连续性原理,流入一个结点的电流之和应等于从该点流出去的电流之和。这个关系说明了电路中通过结点的各电流之间的普遍规律,称为克希荷夫第一定律。

对图1-10的结点 A 而言,

$$I = I_1 + I_2 + I_3,$$

移项后得:

$$I - I_1 - I_2 - I_3 = 0.$$

如果规定:流入结点的电流为正,流出结点的电流为负,那么,克希荷夫第一定律又可说成,流入任一结点的电流的代数和*等于零,并写成:

$$\sum I = 0. \quad (1-11)$$

二、克希荷夫第二定律

全电路欧姆定律的公式(1-8)已经给我们解决了一个问题:在图1-9所示的闭合回路中,电势等于电源内阻上的电压降与外电阻上的电压降之和。这一规律推广到任意一个闭

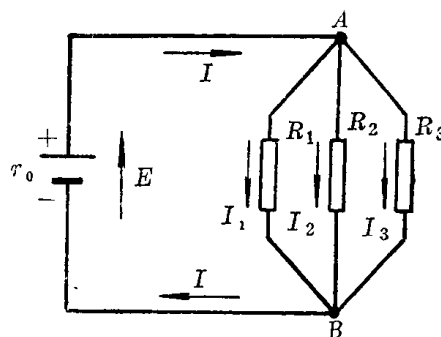


图 1-10 分支电路

* 在数学里有正数和负数,减去一个正数就等于加上一个负数。所以就把正数和负数的相加称为代数和。