



用电

主编 刘国政

安全基础

黄河水利出版社

用电安全基础

主编 刘国政

黄河水利出版社

图书在版编目(CIP)数据

用电安全基础/刘国政主编. — 郑州:黄河水利出版社, 2001. 10

ISBN 7-80621-503-4

I. 用… II. 刘… III. 用电管理-安全技术
IV. TM92

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 072001 号

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市金水路 11 号

邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话及传真:0371-6022620

E-mail:yrp@public2.zz.ha.cn

承印单位:黄河水利委员会印刷厂

开本:850mm×1168mm 1/32

印张:13.5

字数:334 千字

印数:1-4 000

版次:2001 年 10 月第 1 版

印次:2001 年 10 月第 1 次印刷

书号:ISBN 7-80621-503-4/TM·6

定价:23.00 元

狠抓基础管理
实现安全效益

A large, stylized handwritten signature in black ink, likely belonging to Gao Hang, the Vice General Manager of Henan Provincial Electric Power Company.

二〇〇一年九月二十六日

河南省电力公司副总经理高航题词

前 言

如何提高基层电业局技术人员的理论水平和保证安全生产的技能,是电力系统十分重要的任务。

为了满足农村电网改造和广大技术人员、工人学习的迫切需要,以提高电力系统人员的业务素质,编写了《用电安全基础》一书。

本书内容紧密联系生产实际,完全符合国家现行规程和安全技术考核标准。

本书根据用电安全的工作实际要求与基层电力系统的工作现状,如电气工作人员的安全技术知识普遍比较欠缺,工作中因安全措施不当、管理不严、有章不循、思想松懈而导致的电气事故时有发生的情况,从基础理论方面进行了系统的论述,并对电气工作安全措施进行了详细的总结和归纳。为市、县电业局对职工进行安全教育和培训提供了一部很好的教材。

全书共分 20 章。刘国政编写第一章到第十章、第十八章到第二十章;周国安、茹秀敏编写第十一章到第十三章;侯战海编写第十四章到第十七章。全书由刘国政统稿。

刘国政担任本书主编。全书由华北水利水电学院张长富教授主审。

本书在编写过程中得到了新密市电业局和华北水利水电学院的大力支持,在此一并表示感谢。

由于编者水平有限,疏漏和错误之处难免,恳请广大读者批评指正。

编 者

2001 年 8 月

目 录

第一章 直流电路的基本概念	(1)
§ 1-1 电路的概念	(1)
§ 1-2 电流与电流密度	(2)
§ 1-3 电位与电压	(4)
§ 1-4 电动势	(6)
§ 1-5 电功和电功率	(7)
§ 1-6 欧姆定律	(9)
§ 1-7 电路的三种状态	(11)
第二章 简单直流电路的计算	(12)
§ 2-1 电阻的串联、并联和混联	(12)
§ 2-2 电路中各点电位的计算	(13)
§ 2-3 电桥的平衡条件	(14)
§ 2-4 负载获最大功率的条件	(16)
第三章 复杂直流电路的分析	(18)
§ 3-1 基尔霍夫定律	(18)
§ 3-2 支路电流法	(20)
§ 3-3 回路电流法	(23)
§ 3-4 节点电压法	(24)
§ 3-5 戴维南定理	(25)
第四章 电容器	(29)
§ 4-1 电容器与电容量	(29)
§ 4-2 电容器的充电与放电	(30)
§ 4-3 RC 电路的暂态过程	(31)
§ 4-4 电容器的串并联	(35)

第五章 磁场与电磁感应	(39)
§ 5-1 磁的基本现象	(39)
§ 5-2 磁通 磁感应强度 磁导率与磁场强度	(40)
§ 5-3 磁路	(43)
§ 5-4 电磁感应 自感与互感	(45)
§ 5-5 RL 电路的暂态过程	(50)
第六章 简单正弦交流电路	(54)
§ 6-1 正弦电动势的产生	(54)
§ 6-2 纯电阻电路	(57)
§ 6-3 纯电感电路	(59)
§ 6-4 纯电容电路	(62)
§ 6-5 R 、 L 、 C 串联正弦交流电路	(64)
第七章 具有互感的电路	(68)
§ 7-1 互感系数与同名端	(68)
§ 7-2 互感线圈的电压平衡方程	(71)
§ 7-3 互感线圈的联接	(73)
§ 7-4 变压器	(75)
第八章 三相交流电路	(82)
§ 8-1 概述	(82)
§ 8-2 三相电的联接方式	(83)
§ 8-3 三相负载的联接	(85)
§ 8-4 三相电路的功率	(87)
第九章 常用仪表和测量	(89)
§ 9-1 电气仪表的基本知识	(89)
§ 9-2 电流、电压的测量	(92)
§ 9-3 功率、功率因数的测量	(97)
§ 9-4 绝缘电阻的测量	(101)
§ 9-5 万用表的使用	(104)

§ 9-6 电度计量	(106)
第十章 阅图知识	(122)
§ 10-1 电力系统变配电所一次接线图的阅读	(122)
§ 10-2 电力系统变配电所二次接线图的阅读	(125)
第十一章 电力系统	(149)
§ 11-1 电力系统组成	(149)
§ 11-2 电力系统额定电压	(153)
§ 11-3 电力系统短路的基本概念	(156)
§ 11-4 电力系统中性点运行方式	(158)
第十二章 电力变压器运行及电气设备运行	(167)
§ 12-1 变压器的允许运行方式	(167)
§ 12-2 变压器的并列运行	(173)
§ 12-3 变压器的经济运行	(181)
§ 12-4 变压器运行中的维护及检查	(186)
§ 12-5 互感器	(189)
§ 12-6 开关电器及配电装置的运行	(207)
§ 12-7 配电线路的运行维护	(232)
§ 12-8 异步电动机的起动、运行维护和故障分析	(241)
第十三章 电气安全保护	(247)
§ 13-1 电力变压器的保护	(247)
§ 13-2 10kV 及以下配电线路的保护	(259)
§ 13-3 高低压异步电动机的保护	(262)
第十四章 绝缘监察	(268)
§ 14-1 小电流接地系统的绝缘监察装置	(268)
§ 14-2 低压电网的绝缘监察	(270)
§ 14-3 高压窜入低压的防护	(271)
§ 14-4 直流系统绝缘监察	(272)
第十五章 漏电保护	(274)

§ 15-1	漏电保护装置的原理	(274)
§ 15-2	JD 型漏电继电器及接线	(275)
§ 15-3	JC 型和 DZ 型漏电开关	(278)
§ 15-4	漏电保护装置的选用及安装	(282)
§ 15-5	保护装置使用和维护	(287)
§ 15-6	保护装置故障分析与维修	(288)
第十六章	接地接零	(291)
§ 16-1	TT、TN、IT 系统安全原理	(291)
§ 16-2	接地的作用和接地接零设备	(307)
§ 16-3	对零线装置的要求	(313)
§ 16-4	接地装置的安装及对接地电阻的要求	(314)
§ 16-5	接地电阻的测量	(318)
§ 16-6	接地装置的运行检查和降低接地电阻的方法	(320)
第十七章	防雷保护	(323)
§ 17-1	变电所的直击雷保护	(323)
§ 17-2	变电所 3~10kV 配电装置的防雷保护	(326)
§ 17-3	防雷装置的引下线和独立接地装置	(333)
第十八章	电气事故及其预防和触电急救	(335)
§ 18-1	基本概念综述	(335)
§ 18-2	电气事故的种类及危害	(342)
§ 18-3	电流对人体的作用	(348)
§ 18-4	触电急救	(353)
第十九章	安全管理措施	(360)
§ 19-1	保证安全的组织措施	(361)
§ 19-2	保证安全的技术措施	(368)
§ 19-3	电气安全用具	(371)
§ 19-4	低压电气工作的安全措施	(377)

§ 19-5 安全教育和安全检查	(383)
第二十章 变配电所设备的运行管理	(387)
§ 20-1 变配电所的倒闸操作	(387)
§ 20-2 变配电所的事故处理	(395)
§ 20-3 运行管理	(404)

第一章 直流电路的基本概念

§ 1-1 电路的概念

所谓电路,是电流通过的路径。最简单的电路是由电源、负载和连接导线组成。电源是将其他形式的能量转换成电能的装置。随着电流的流动,电路中有将其他形式的能量转换成电能的负载。图 1-1 为电路图,电源用 E 表示,负载用 R 表示,连接导线电阻忽略。

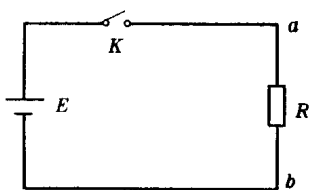


图 1-1

电路分外电路和内电路。从电源一端经过负载再回到电源另一端的电路,称为外电路。电源内部的通路称为内电路,如电池两极之间的电路就是内电路。

电路通常有 3 种状态:

(1)通路。即开关 K 闭合,构成闭合回路,电路中有电流流过。

(2)开路。开关 K 断开或电路一处断开,被切断的电路中没有电流流过。开路也称为断路。

(3)短路。若电路中 a 、 b 两点用导线直接接通,称为负载被短路。

电能工农业生产、科研、国防和日常生活中有着广泛的应用。在计算机、自控、通讯等各个领域,应用电路来完成各种任务。

§ 1-2 电流与电流密度

一、电流

任何物质都是由分子组成,分子是由原子组成,而原子又是由带正电的原子核和带负电的电子组成。在通常情况下,原子核所带的正电荷数等于核外电子所带的负电荷数。所以,原子是中性的,不显电性,物质也不显带电的性能。当人们给予一定外加条件时(如接上电源),就能迫使金属或某些溶液中的电子发生有规则的运动。

把单位时间内通过导体截面的电量称为电流。它实质是电荷有规则的定向运动形成的。在金属导体中,电流是电子在外电场作用下有规则地运动形成的。在某些液体或气体中,电流则是正离子或负离子在外电场作用下有规则运动形成的。

规定以正电荷运动的方向为电流的方向。在金属导体中,电子运动形成的电流方向与电子流动方向相反。

电流的大小取决于在一定时间内通过导体横截面的电荷量多少。电流的大小用电流强度来衡量,通常规定:一秒钟内通过导体截面的电量称为电流强度,以字母 I 表示。若在 t 秒内通过导体截面电量是 Q 库仑(C),则电流强度 I 用下式表示:

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

若在一秒钟内通过导体横截面的电量为 1 库仑,则电流强度就是 1 安培。

安培简称安,以字母 A 表示,还有千安(kA)、毫安(mA)、微安(μ A)。它们之间的换算关系是:

$$1 \text{ 千安(kA)} = 10^3 \text{ 安(A)}$$

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

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

通常把电流强度简称为电流。因此,电流不但表示一种物理现象,而且也代表一个物理量。

电流分交流和直流,凡大小和方向都不随时间变化的电流称直流,凡大小和方向都随时间变化的电流称为交流。

交流电流的大小是随时变化的,我们可以将在一个很短的时间 Δt 内,导体截面的电量变化看作 ΔQ ,则瞬时电流强度 i 为

$$i = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \quad (1-2)$$

在实际问题中,电流真实方向往往难以在电路中标出。如交流电路中电流随时间变化,很难用一个固定的箭头来表示真实方向,即使在直流电路中,在求解复杂电路时,也往往难以事先判断某支路中电流的实际方向。为此,在分析与计算电路时,可任选定某一方向作为电流的正方向,亦称参考方向(见图 1-2)。我们规定:如果电流的真实方向与参考方向一致,电流为正值;二者相反,电流为负值。在未标电流参考方向的情况下,电流的正、负毫无意义。为此,在分析电路时,先任意假设电流参考方向,以最后计算结果正、负来确定电流的真实方向。



图 1-2

二、电流密度

在实际工作中,有时需要选择导线的粗细(截面),这就要用到电流密度这一概念。所谓电流密度,就是当电流在导体的横截面

上均匀分布时,该电流与导体横截面的比值。这样,电流密度 J 可用下式表示:

$$J = \frac{I}{S} \quad (1-3)$$

上式中,当电流强度 I 用 A 作单位,面积 S 用 mm^2 作单位时,电流密度的单位是 A/mm^2 。导线允许的电流密度随导体截面不同而不同。当导线中通过的电流超过允许电流时,导线将发热、冒火,而出现事故。

例 1-1 某照明电路中需要通过 21A 的电流,问应采用多粗的铜导线?(设铜导线允许电流密度为 $6\text{A}/\text{mm}^2$)

解
$$S = \frac{I}{J} = \frac{21}{6} = 3.5(\text{mm}^2)。$$

§ 1-3 电位与电压

一、电位

当把车子从甲地推到乙地,或吊车把货物从地面吊起,车子和货物都受到了力的作用,且在受力的方向上移动了一段距离。这时我们认为,力对物体做了功。用符号 A 表示功, F 表示力, L 表示距离,那么:

$$A = FL$$

我们从物理学中知道,带电体的周围存在着电场,电场对处在场内的电荷也有力的作用,这种力称为电场力。当电场力使电荷移动时,我们就说电场力对电荷做了功。如图 1-3 所示的均匀电场中,电场力 f 把正电荷 Q 从 a 点移至 O 点和从 b 点移到 O 点所做的功。

设 a 点与 O 点间的距离是 L_{ao} , b 点与 O 点间的距离是 L_{bo} , 则电场力 f 将 Q 从 a 点移到 O 点做的功是:

$$A_{aO} = fL_{aO}$$

电场力 f 将 Q 从 b 点移到 O 点做的功是:

$$A_{bO} = fL_{bO}$$

如果电荷的电量增加一倍,那么,作用在电荷上的电场力也增加一倍,电场力所做的功也就相应地增加一倍。即在一个已知的电场内,电场力做的功

A_{aO} 、 A_{bO} 与电荷量成正比。电位的定义是:电场力把单位正电荷从电场中的某点移到参考点所做的功,称为该点的电位。以 O 点为参考点时, a 点的电位 φ_a 为

$$\varphi_a = \frac{A_{aO}}{Q} \quad (1-4)$$

以 O 点为参考点时, b 点的电位 φ_b 为

$$\varphi_b = \frac{A_{bO}}{Q} \quad (1-5)$$

电位是一个相对量,是相对参考点而言的。参考点的选取是任意的。参考点选取不同,电位数值也不相同,但两点间的电位差是不变的。

如果功的单位是焦耳(J),电荷的单位是库仑(C),则电位的单位是伏特,用字母 V 表示。计算微小的电压时,以毫伏(mV)或微伏(μV)为单位。计算高电位时,则以千伏(kV)为单位。其换算关系为

$$\begin{aligned} 1\text{kV} &= 10^3\text{V} & 1\text{mV} &= 10^{-3}\text{V} \\ 1\mu\text{V} &= 10^{-3}\text{mV} = 10^{-6}\text{V} \end{aligned}$$

二、电压

为了衡量电场力对电荷做功的能力,引入电压这一物理量,

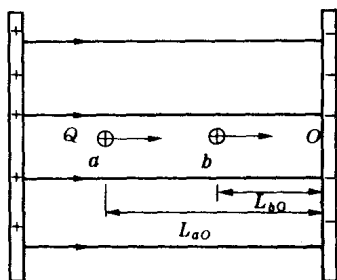


图 1-3 电场力作功

a, b 两点间的电压 U_{ab} 在数量上等于电场力把单位正电荷从 a 点移至 b 点所做的功。即单位正电荷从 a 点(高电位)移至 b 点(低电位)所失去的电能。

电压单位同电位一样。电压方向是从高电位指向低电位。

在交流电路或复杂的直流电路中,某一支路的电压的真实极性很难确定时,如同电路中电流的参考方向一样,也要假设该支路电压的参考极性。电压参考极性选取是任意的。参考极性在元件或电路两端用“+”、“-”来表示,也可以用一个箭头来表示。当计算结果某一元件上电压为正,说明该支路电压与参考极性方向相同;为负,说明该支路电压真实极性与参考极性相反(见图 1-4)。

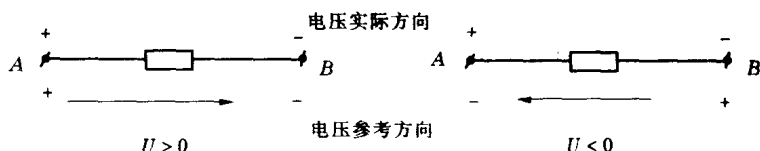


图 1-4

在未标支路电压参考极性的前提下,电压正、负毫无意义。电流的参考方向和电压的参考极性本可独立无关的任意假设,但为了方便,采用关联的参考方向,即电流参考方向与电压参考极性方向一致。

电压可用电压表来测量。测量时要注意量程,并使电压表的正负极和被测电压一致,然后把表并联在电路中。

§ 1-4 电动势

在电源内部,局外力(不是电场力)把单位正电荷从低电位移至高电位所做的功,称为电动势 E 。由于静电场把单位正电荷从高电位移至低电位,运动的结果使静电场的电荷分布发生了变化,

因而也就改变了各点的电场强度,电位就不可能保持恒定的电流,为了保持恒定电流就必须有一种局外力(如化学力)。电动势的方向是从低电位指向高电位的。单位同电压单位一样。电压和电动势都表示做功,方向不一样。电压指负载端,电动势是指电源端。形成回路时电压总比电动势要小些(因电源内总是有内阻的),只有在开路时(电路中 $I=0$)电压和电动势才相等。

§ 1-5 电功和电功率

一、电功

把电能转换成其他形式的能量(如热能、光能等),电流都要流动。电流所做的功称为电功。由 $I = \frac{Q}{t}$ 、 $U = \frac{A}{Q}$ 可得电功 A 。即

$$A = UQ = UIt \quad (1-6)$$

或
$$A = I^2 R t \quad (1-7)$$

$$A = \frac{U^2}{R} t \quad (1-8)$$

上式中,若电压单位为 V,电流单位为 A,电阻单位为 Ω ,时间单位为 s,则电功单位是焦耳(J)。

二、电功率

电功不能表示电流做功的快慢,我们把单位时间内电流所做的功,称为电功率,用 P 表示,即

$$P = \frac{A}{t}$$

上式中,若电功单位为 J,时间单位为 s,则电功率的单位是 J/s。J/s 又称瓦,用 W 表示。