

职业技能培训教程

ZHIYEJINENGPEIXUNJIAOCHENG

变电站值班员

BIAN DIAN ZHAN ZHI BAN YUAN

中国石油天然气集团公司人事服务中心 编



中国石油大学出版社

CHINA PETROLEUM UNIVERSITY PRESS

职业技能培训教程

变电站值班员

中国石油天然气集团公司人事服务中心 编

中国石油大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

变电站值班员/中国石油天然气集团公司人事服务中心编. —东营:中国石油大学出版社,2007.3

ISBN 978-7-5636-2199-6

I. 变… II. 中… III. 变电所—电工—技术培训—教材 IV. TM63

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第030636号

丛 书 名: 职业技能培训教程

书 名: 变电站值班员

作 者: 中国石油天然气集团公司人事服务中心

.....
责任编辑: 邵 云(0546—8391282)

.....
出 版 者: 中国石油大学出版社(山东 东营 邮编 257061)

网 址: <http://uppbok.com.cn>

电子信箱: sanbianshao@126.com

排 版 者: 中国石油大学出版社排版中心

印 刷 者: 沂南县汇丰印刷有限公司

发 行 者: 中国石油大学出版社(电话 0546—8392565,8399580)

开 本: 185×260 印张:30.875 字数:790千字

版 次: 2007年11月第1版第1次印刷

定 价: 38.00元

职业技能培训教程

编审委员会

主任：孙祖岭

副主任：刘志华 孙金瑜 徐新福

委员：向守源 任一村 职丽枫 朱长根 郭向东
李钟馨 史殿华 马富 关昱华 郭学柱
李爱民 刘文玉 熊术学 齐爱国 刘振勇
王家夫 刘瑞善 丁传峰 乔庆恩 申泽
刘晓华 蔡激扬 阿不都·热西提 郭建
王阳福 郑兴华 赵忠文 刘孝祖 时万兴
王成 商桂秋 赵华 杨诗华 刘怀忠
杨静芬 纪安德 杨明亮 刘绍胜 姚斌
何明 范积田 胡友彬 多明轩 李明
蔡新江

前 言

为提高石油工人队伍素质,满足职工培训、鉴定的需要,中国石油天然气集团公司人事服务中心继组织编写了第一批 44 个石油天然气特有工种的培训教程与鉴定试题集后,又组织编写了第二、三批 106 个工种的职业技能鉴定试题集,并分别由石油工业出版社和中国石油大学出版社出版。根据企业组织工人进行培训和职工学习技术的需要,我们在第二、三批题库的基础上,又组织编写了第二批 32 个工种的工人培训教材。

本批教材只编写基础理论知识与相关专业知识部分,内容、范围与题库基本一致,不分级别,与已出版发行的第二、三批试题集配套使用,便于组织工人进行鉴定前的培训。由于在公开出版发行的试题集中,只选取了题库中的部分试题,因此本批教材的出版发行对工人学习技术,提高知识技能将起到应有的作用。

《变电站值班员》由大庆石油管理局组织编写,窦美英、田立敏、乔丽任主编,参加编写的人员有刘凤兰、张春艳、李英、孙银艳,参加审定的人员有张殿席、王宇靖、康石玲。最后经中国石油天然气集团公司职业技能鉴定指导中心组织专家进行了终审,参加审定的专家有青海石油管理局王来彬,中油吉林化工技能鉴定中心刘勃安,吉林石油有限公司吴敬霞、温海峰。在此表示衷心感谢!

由于编者水平有限,疏漏、错误之处在所难免,恳请广大读者提出宝贵意见。

编 者

2007 年 3 月

目 录

第一部分 基础知识

第一章 电工基础知识	(1)
第一节 电路的概念及基本定律	(1)
第二节 电路的连接	(7)
第三节 复杂电路的基本分析计算	(11)
第四节 磁场与电磁感应	(13)
第五节 电容器	(20)
第六节 正弦交流电的基本概念	(25)
第七节 正弦交流电路	(29)
第八节 三相交流电路	(38)
第二章 电子技术基础	(44)
第一节 半导体的基础知识	(44)
第二节 PN 结及其特性	(46)
第三节 半导体二极管	(47)
第四节 直流稳压电源	(51)
第五节 半导体三极管	(56)
第三章 电工仪表与测量	(60)
第一节 电工仪表与测量的基础知识	(60)
第二节 电流表、电压表	(67)
第三节 直流电阻的测量	(75)

第二部分 专业知识

第一章 电力系统基本知识	(87)
第一节 电力生产的过程	(87)
第二节 电力系统基本知识	(89)
第三节 电力系统中性点接地方式	(91)
第四节 电气一次接线图	(95)
第五节 电力系统运行的稳定性	(100)
第六节 短路电流计算	(113)
第二章 电气设备运行	(125)
第一节 变压器及其运行	(125)
第二节 互感器	(147)

第三节	高压开关电器	(151)
第四节	母线、绝缘子、电缆	(184)
第五节	补偿设备及运行	(187)
第六节	电抗器的运行	(193)
第七节	电动机	(194)
第三章	继电保护装置及自动装置	(202)
第一节	继电保护装置的基本知识	(202)
第二节	常用的继电器	(204)
第三节	电网的继电保护	(211)
第四节	电力变压器的继电保护	(264)
第五节	母线保护	(274)
第六节	电动机保护	(279)
第七节	电力电容器保护	(285)
第八节	晶体管继电保护	(290)
第四章	二次回路	(293)
第一节	电气二次回路的基本知识	(293)
第二节	断路器控制电路	(299)
第三节	中央信号回路	(309)
第四节	变配电所的操作电源	(319)
第五章	变电所的“两票”	(332)
第一节	倒闸操作票	(332)
第二节	工作票	(349)
第六章	电气设备的异常运行分析及事故处理	(360)
第一节	概述	(360)
第二节	变压器的异常运行分析及事故处理	(361)
第三节	互感器的异常运行分析及事故处理	(367)
第四节	消弧线圈的异常运行分析及事故处理	(371)
第五节	电力电容器的异常运行分析及事故处理	(372)
第六节	高压断路器的异常运行分析及事故处理	(374)
第七节	避雷针、避雷器的事故处理	(379)
第八节	母线、绝缘子和线路的异常运行分析及事故处理	(380)
第七章	高电压技术	(389)
第一节	绝缘材料与电气试验	(389)
第二节	过电压及过电压保护设备	(409)
第三节	发电厂和变电所的防雷保护	(419)
第四节	变电所的防污闪	(422)
第八章	变电站综合自动化系统	(425)
第一节	变电所的微机保护	(425)
第二节	变电所综合自动化系统的功能	(431)
第三节	远动装置	(436)

第九章 变配电所的运行管理	(439)
第一节 变配电所的技术资料及制度	(439)
第二节 变配电所的运行管理	(448)
第十章 安全用电	(452)
第一节 接地接零的作用和要求	(452)
第二节 接地装置的装设与维护	(459)
第三节 接地电阻的要求及测量	(463)
第四节 电流对人体的危害	(464)
第五节 触电事故种类和方式	(467)
第六节 电气防火与防爆	(474)
附录	(481)
参考文献	(484)

第一部分 基础知识

第一章 电工基础知识

第一节 电路的概念及基本定律

一、电路和电路模型

电路是由各种电气器件按一定方式用导线连接组成的总体,它提供了电流通过的闭合路径。这些电气器件包括电源、开关、负载等,如图 1-1-1 所示。

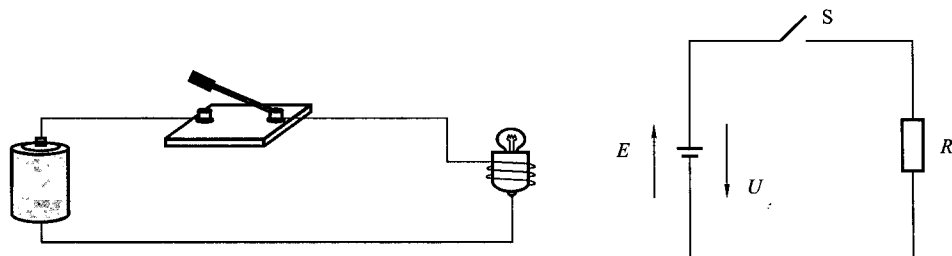


图 1-1-1 简单的直流电路

电源是把其他形式的能量转换为电能的装置。例如,发电机将机械能转换为电能。负载是取用电能的装置,它把电能转换为其他形式的能量。例如,电动机将电能转换为机械能,电热炉将电能转换为热能,电灯将电能转换为光能。导线的作用是连接电源和负载,为电流提供通路,把电源的能量供给负载。开关的作用是根据负载需要接通和断开电路。

电路的功能有两类:第一类功能是进行能量的转换、传输和分配;第二类功能是进行信号的传递与处理。例如,扩音机的输入是由声音转换而来的电信号,该信号通过晶体管组成的放大电路,输出的便是放大的电信号,从而实现了放大功能;电视机可将接收到的信号经过处理,转换成图像和声音。

二、电路的基本物理量

(一) 电流

电流是由电荷的定向移动而形成的。当金属导体处于电场之内时,自由电子要受到电场力的作用,沿着逆电场的方向做定向移动,这就形成了电流。大小和方向均不随时间变化的电流叫恒定电流,简称直流。

对于恒定直流,单位时间内通过导体截面的电量叫电流,用 I 来表示,即

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

电流的单位是 A(安培)。在 1 s 内通过导体横截面的电荷为 1 C(库仑)时,其电流为 1 A。计算微小电流时,电流的单位用 mA(毫安)、 μ A(微安)或 nA(纳安);计算较大电流时,电流的单位用 kA(千安)。它们的换算关系为:

$$1 \text{ mA} = 10^{-3} \text{ A}; 1 \mu\text{A} = 10^{-6} \text{ A}; 1 \text{ nA} = 10^{-9} \text{ A}; 1 \text{ A} = 10^{-3} \text{ kA}$$

习惯上,规定正电荷的移动方向为电流的实际方向。在外电路,电流由正极流向负极;在内电路,电流由负极流向正极。

在简单电路中,电流的实际方向可由电源的极性确定。在复杂电路中,电流的方向有时事先难以确定。为了分析电路,我们便引入了电流的参考正方向的概念。在进行电路计算时,先任意选定某一方向作为待求电流的正方向,并根据此正方向进行计算,若计算得到的结果为正值,说明了电流的实际方向与选定的正方向相同,若计算得到的结果为负值,说明电流的实际方向与选定的正方向相反。

根据电流的大小和方向随时间变化的情况不同,电流可分为以下几种:

恒定电流——大小和方向都不随时间变化的电流,简称直流,简写作“DC”,用“ I ”表示;

时变电流——大小和方向或二者之一随时间变化的电流,用“ i ”表示;

脉动电流——方向不变,但大小随时间变化的电流;

变动电流——大小和方向均随时间变化的电流;

周期性变动电流——每隔一段时间,总是重复前面的变化的变动电流;

交变电流——在一个周期内,电流平均值为零的周期性变动电流,简称交流,简写作“AC”;

正弦交流电——按正弦规律变化的交变电流。

测量电流时应注意:对交、直流电流应分别使用交流和直流电流表测量;电流表必须串接到被测量的电路中;要合理选择电流表的量程;直流电流表表壳接线柱上标明的“+”、“-”记号应和电路的极性相一致,不能接错(如图 1-1-2 所示),否则指针反转,既影响正常测量,又容易损坏电流表。

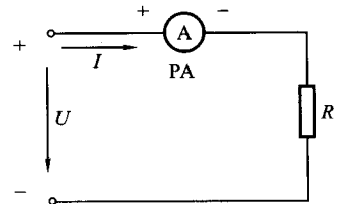


图 1-1-2 直流电流的测量

(二) 电压与电位

(1) 电位:在电路中任选一点为参考点,电场力把单位正电荷从电场中某点移到参考点所做的功叫做这一点的电位。参考点在电路图中用符号“ \perp ”表示。

(2) 电压:电场力把单位正电荷从电场中某点 A 移到另一点 B 所做的功 W_{AB} 称为 A 、 B 间的电压,用 U_{AB} 表示,即

$$U_{AB} = \frac{W_{AB}}{Q} \quad (1-1-2)$$

电压的单位为 V(伏特)。如果电场力把 1 C 电量从点 A 移到点 B 所做的功是 1 J(焦耳),则 A 与 B 两点间的电压就是 1 V。计算较大的电压时用 kV(千伏),计算较小的电压时用 mV(毫伏),它们的换算关系为:

$$1 \text{ kV} = 10^3 \text{ V}; 1 \text{ mV} = 10^{-3} \text{ V}$$

电压的实际方向规定为从高电位点指向低电位点,即由“+”极指向“-”极,因此,在电压的方向上电位是逐渐降低的。电压总是相对两点之间而言的,所以用双下标表示,第一个下标(如 A)代表起点,后一个下标(如 B)代表终点。电压的方向则由起点指向终点,有时用箭头在图上标明。当标定的参考方向与电压的实际方向相同时,电压为正值;当标定的参考方向与实际电压方向相反时,电压为负值。

电压大小的测量使用电压表(伏特表),测量时应注意:对交、直流电压应分别使用交流电压表和直流电压表测量,还要合理选择电压表的量程;电压表必须并联在被测量电路的两端;直流电压表表壳接线柱上标明的“+”、“-”记号应和被测两点的电位相一致,即“+”端接高电

位,“-”端接低电位,不能接错(如图 1-1-3 所示),否则指针反转,并会损坏电压表。

根据电压与电位的概念可推出 $U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B$, 即两点间的电压等于该两点电位之差。

电路中各点的电位值与参考点的选择有关,当所选的参考点变动时,各点的电位值将随之变动。参考点一经选定,在电路分析和计算过程中,不能随意更改。在电路中不指定参考点而谈论各点的电位值是没有意义的。习惯上认为参考点自身的电位为零,所以参考点也叫零电位点。在电子线路中一般选择元件的汇集处,而且常常是电源的一个极作为参考点,在工程技术中则选择大地、机壳等作为参考点。

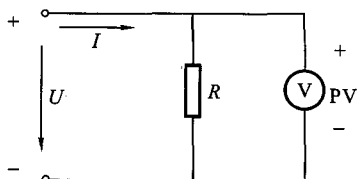


图 1-1-3 直流电压的测量

(三) 电动势

在电源内部外力将单位正电荷从电源的负极移动到电源正极所做的功叫电动势,用符号 E 表示,即

$$E = \frac{W_{\text{外}}}{Q} \quad (1-1-3)$$

电动势的单位与电压相同,也是 V(伏特)。电动势的方向由负极指向正极,对于一个电源来说,既有电动势又有端电压。电动势只存在于电源内部,而端电压则是电源加在外电路两端的电压,其方向由正极指向负极。为了维持电路中有持续不断的电流,必须有一种外力,把正电荷从低电位处(负极)移到高电位处(正极)。在电源内部就存在着这种外力,如图 1-1-4 所示,如果外力把 1 C 的电量从负极 B 移到正极 A 所做的功是 1 J,则电动势就等于 1 V。图 1-1-5a、b 为电源的符号。电动势的方向规定为从负极指向正极,即由“-”极指向“+”极,如图 1-1-5c 所示。

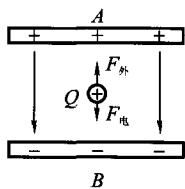


图 1-1-4 电动势的产生

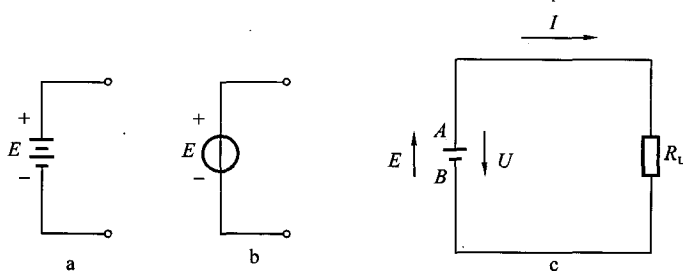


图 1-1-5 电源的图形符号及电动势的方向

(四) 电功率和电功

在直流电路中,根据电压的定义,电场力所做的功是 $W = QU$ 。把单位时间内电场力所做的功称为电功率,则有:

$$P = \frac{QU}{t} = IU \quad (1-1-4)$$

功率的单位是 W(瓦[特])。对于大功率,采用 kW(千瓦)或 MW(兆瓦)作单位,对于小功率则用 mW(毫瓦)或 μ W(微瓦)作单位。

在电源内部,外力做功;正电荷由低电位移向高电位,电流逆着电场方向流动,将其他能量转变为电能,其电功率为 $P = EI$ 。若计算结果 $P > 0$,说明该元件是耗能元件;若计算结果 $P < 0$,则该元件为供能元件。

当已知设备的功率为 P 时,在 t s 内电流所做的功为 $W = Pt$,电器消耗的电能就等于电场

力所做的功,单位是J(焦耳)。在电工技术中,往往直接用 $W \cdot s$ (瓦[特]秒)作单位,实际中多用 $kW \cdot h$ [千瓦(小)时]作单位,俗称1度电, $1 kW \cdot h = 3.6 \times 10^6 J$ 。

三、欧姆定律

(一) 一段电路的欧姆定律

在不包含电源的电阻电路中,流过导体的电流与这段导体两端的电压成正比,与导体的电阻成反比,即

$$I = U/R \quad (1-1-5)$$

图 1-1-6 所示的电路是不含电动势,只含有电阻的一段电路。若 U 与 I 的正方向一致,则欧姆定律可表示为:

$$U = IR$$

若 U 与 I 方向相反,则欧姆定律表示为:

$$U = -IR$$

例 1-1-1:某 100 W 的白炽灯在电压 220 V 时正常发光,此时通过的电流是 0.455 A,试求该灯泡工作时的电阻。

$$\text{解: } R = \frac{U}{I} = \frac{220}{0.455} \approx 484 (\Omega)$$

答:灯泡工作时的电阻为 484 Ω 。

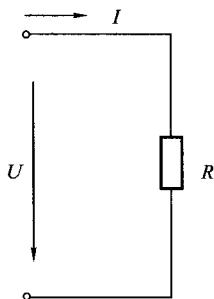


图 1-1-6 部分电路

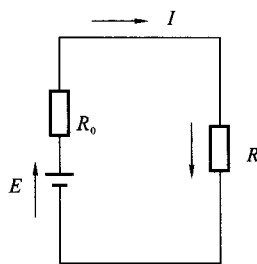


图 1-1-7 简单的闭合电路

(二) 全电路的欧姆定律

图 1-1-7 所示是简单的闭合电路, R 为负载电阻, R_0 为电源内阻,若略去导线电阻不计,则有:

$$I = \frac{E}{R_0 + R} \quad (1-1-6)$$

式(1-1-6)的意义是:电路中流过的电流,其大小与电动势成正比,而与电路的全部电阻成反比。电源的电动势和内电阻一般认为是不变的,所以,改变外电路电阻,就可以改变回路中的电流大小。

(三) 电阻与电阻率

1. 电阻元件的图形、文字符号

电阻器通常就叫电阻,在电路图中用字母“ R ”表示,单位是 Ω (欧姆),简称欧。电阻元件的倒数称为电导,用字母 G 表示,单位为 S(西门子),简称西。

在温度一定的条件下,把加在电阻两端的电压与通过电阻的电流之间的关系称为伏安特性。电阻元件的伏安特性,可以用以电流为横坐标、电压为纵坐标的直角坐标平面上的曲线来表示,称为电阻元件的伏安特性曲线。一般金属电阻的阻值不随所加电压和通过的电流而改

变,即在一定的温度下其阻值是常数,这种电阻的伏安特性是一条经过原点的直线,如图 1-1-8 所示,这种电阻称为线性电阻。

电阻值随电压和电流的变化而变化,其电压与电流的比值不是常数,这类电阻称为非线性电阻。例如,半导体二极管的正向电阻就是非线性的,它的伏安特性如图 1-1-9 所示。半导体三极管的输入、输出电阻也都是非线性的。对于非线性电阻的电路,欧姆定律不再适用。

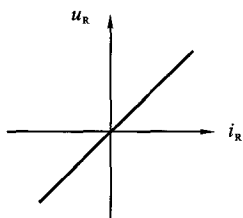


图 1-1-8 线性电阻元件的伏安特性及图形符号

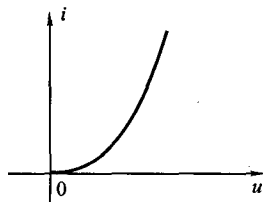
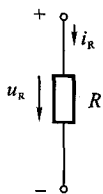


图 1-1-9 二极管的伏安特性

电阻元件的功率为:

$$P = I_R^2 R = \frac{U_R^2}{R} \quad (1-1-7)$$

电阻元件吸收的功率恒为正值,电阻元件又称为耗能元件。

2. 电阻定律

长度为 1 m 、截面积为 1 mm^2 的导体在一定温度下的电阻值称为电阻率,用符号 ρ 表示,其单位为 $\Omega \cdot \text{m}$ (欧[姆]米)。纯金属的电阻率很小,绝缘体的电阻率很大。目前电气设备中常采用导电性能良好的铜、铝作导线。电阻的计算公式为:

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (1-1-8)$$

式中 L ——导体的长度, m ;

S ——导体的横截面积, m^2 。

测量电阻应使用电阻计(欧姆表)、电桥等专用仪表,测量时应注意:切断电路上的电源,使被测电阻的一端断开;避免把人体的电阻量入。

四、基尔霍夫定律

基尔霍夫定律是集中参数电路的基本定律,它包括电流定律和电压定律。下面介绍与之相关的几个概念。

支路:电路中流过同一电流的一个分支称为一条支路。如图 1-1-10 中的 BAF 、 BCD 、 BE 等都是支路。

节点:三条或三条以上支路的汇接点称为节点。例如,图 1-1-10 中的 B 、 E 都是节点。

回路:由若干支路组成的闭合路径,其中每个节点只经过一次,这条闭合路径称为回路。例如,图 1-1-10 中 $ABEFA$ 、 $BCDEB$ 、 $ABCDEFA$ 等都是回路。

网孔:网孔是回路的一种。将电路画在平面上,在回路内部不另含有支路的回路称为网孔。

(一) 基尔霍夫电流定律(KCL)

在电路中,任何时刻对于任一节点而言,流入节点的电流之和等于流出节点的电流之和,即

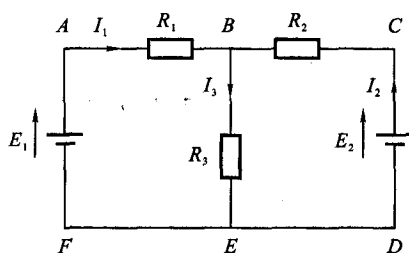


图 1-1-10 复杂电路

$$\sum I_{\lambda} = \sum I_{\text{出}} \text{ 或 } \sum I = 0 \quad (1-1-9)$$

如图 1-1-10 所示,对节点 B,有:

$$I_1 + I_2 = I_3$$

通常规定,对参考方向背离节点的电流取正号,而对参考方向指向节点的电流取负号。例如,图 1-1-11 所示为某电路中的节点 a,连接在节点 a 的支路共有五条,在所选定的参考方向下有:

$$-I_1 + I_2 + I_3 - I_4 + I_5 = 0$$

(二) 基尔霍夫电压定律(KVL)

沿任一回路绕行一周,回路中所有电动势的代数和等于所有电阻压降的代数和,即

$$\sum E = \sum IR \text{ 或 } \sum U = 0 \quad (1-1-10)$$

应用 KVL 定律时,先假定绕行方向,当电动势的方向与绕行方向一致时,则此电动势取正号,反之取负号;当电阻上的电流方向与回路绕行方向一致时,取此电阻上的电压降为正,反之取负号。图 1-1-12 所示为某电路中的一个回路 ABCDA,各支路的电压在选择的参考方向下为 u_1 、 u_2 、 u_3 、 u_4 ,因此,在选定的回路“绕行方向”下有:

$$u_1 + u_2 - u_3 - u_4 = 0$$

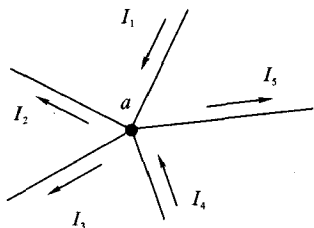


图 1-1-11 KCL 定律应用

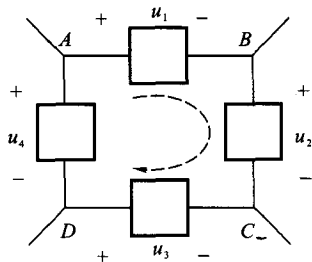


图 1-1-12 KVL 定律应用

五、电气设备的额定值及电路的三种状态

(一) 电气设备的额定值

为了保证电器设备和器件可以安全、可靠和经济地工作,每种设备、器件在设计时都对其规定了额定值。电气设备的额定值通常有:

(1) 额定电流(I_N):电气设备长时间运行以致稳定温度达到最高允许温度时的最大电流,称为额定电流。

(2) 额定电压(U_N):为了限制电气设备的电流并考虑绝缘材料的绝缘性能等因素,允许加在电气设备上的电压限值,称为额定电压。

(3) 额定功率(P_N):在直流电路中,额定电压与额定电流的乘积就是额定功率,即

$$P_N = U_N I_N$$

电气设备的额定值都标在铭牌上,所以,额定值又叫铭牌数据,使用时必须遵守。例如,一盏日光灯上标有“220 V 60 W”的字样,表示该灯在 220 V 电压下使用,消耗功率为 60 W。若将该灯泡接在 380 V 的电源上,则会因电流过大将灯丝烧毁;反之,若电源电压低于额定值,虽能发光,但灯光暗淡。

(二) 电路的几种状态

电路可分为三种工作状态,分别是通路、断路、短路。

1. 通路(有载工作状态)

如图 1-1-13 所示,当开关 S 闭合,使电源与负载接成闭合回路,电路便处于通路状态。在实际电路中,负载都是并联的,用 R_L 代表等效负载电阻。

电路中的用电器是由用户控制的,而且是经常变动的。当并联的用电器增多时,等效电阻 R_L 就会减小,而电源电动势 E 通常为一恒定值,且内阻 R_0 很小,电源端电压 U 变化很小,则电源输出的电流和功率将随之增大,这时称为电路的负载增大;当并联的用电器减少时,等效负载电阻 R_L 增大,电源输出的电流和功率将随之减小,这种情况称为负载减小。可见,所谓负载增大或负载减小,是指增大或减小负载电流,而不是增大或减小电阻值。电路中的负载是变动的,所以,电源端电压的大小也随之改变。电源端电压 U 随电源输出电流 I 的变化关系称为电源的外特性。

根据负载大小,电路在通路时又分为三种工作状态:当电气设备的电流等于额定电流时称为满载工作状态;当电气设备的电流小于额定电流时,称为轻载工作状态;当电气设备的电流大于额定电流时,称为过载工作状态。

2. 断路

所谓断路,就是电源与负载没有构成闭合回路。在图 1-1-13 所示的电路中,当 S 断开时,电路即处于断路状态。断路状态的特征是: $R = \infty, I = 0$,电源内阻消耗功率 $P_E = 0$,负载消耗功率 $P_L = 0$,路端电压 $U_0 = E$ 。此种情况,也称为电源的空载。

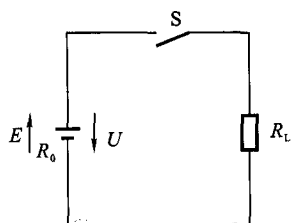


图 1-1-13 通路示意图

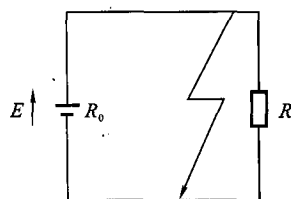


图 1-1-14 短路示意图

3. 短路

所谓短路,就是电源未经负载而直接由导线接通成闭合回路,如图 1-1-14 所示。图中折线是指明短路点的符号。短路的特征是: $R = 0, U = 0, I_s = \frac{E}{R_0}$ (短路电流), $P_L = 0, P_E = I_s^2 R_0$ (电源内阻消耗功率)。

因为电源内阻 R_0 一般都很小,所以短路电流 I_s 总是很大。如果电源短路事故未迅速排除,很大的短路电流将会烧毁电源、导线及电气设备,所以,电源短路是一种严重事故,应严加防止。为了防止发生短路事故,以免损坏电源,常在电路中串接熔断器,熔断器中装有熔丝,熔丝是由低熔点的铅锡合金丝或铅锡合金片做成的,一旦短路,串联在电路中的熔丝将因发热而熔断,从而保护电源免于烧坏。

第二节 电路的连接

一、电阻的串联

由若干个电阻按顺序连接成一条无分支的电路,称为串联电路。如图 1-1-15 所示的电路,是由三个电阻串联组成的。

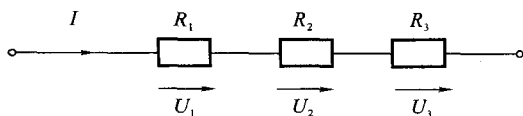


图 1-1-15 电阻串联

以图 1-1-15 所示的电路为例,电阻元件串联有以下几个特点:

- (1) 流过串联各电阻的电流相等,即 $I_{R_1} = I_{R_2} = I_{R_3} = I$ 。
- (2) 等效电阻(总电阻)等于各串联电阻之和,即 $R = R_1 + R_2 + R_3$ 。
- (3) 电路两端的总电压等于各电阻两端电压之和,即 $U = U_1 + U_2 + U_3$ 。
- (4) 总功率 $P = P_1 + P_2 + P_3$ 。
- (5) 电阻串联具有分压作用,各电阻上分配的电压与各电阻阻值成正比,即

$$U_1 = \frac{R_1 U}{R}; U_2 = \frac{R_2 U}{R}; U_3 = \frac{R_3 U}{R}$$

例 1-1-2:现有一表头,满刻度电流 $I_G = 50 \mu\text{A}$,表头的电阻 $R_G = 3 \text{ k}\Omega$,如图 1-1-16 所示。若要改装成量程为 10 V 的电压表,试问应串联一个多大的电阻?

解:当表头满刻度时,它的端电压为:

$$U_G = 50 \times 10^{-6} \times 3 \times 10^3 = 0.15 \text{ (V)}$$

设量程扩大到 10 V 时所需串联的电阻为 R ,则 R 上分得的电压为:

$$U_R = 10 - 0.15 = 9.85 \text{ (V)}$$

$$R = \frac{U_R}{I_G} = \frac{9.85}{50 \times 10^{-6}} = 197 \text{ (k}\Omega\text{)}$$

故应串联 $197 \text{ k}\Omega$ 的电阻,方能将表头改装成量程为 10 V 的电压表。

电阻串联在实际工作中应用非常广泛,用几个电阻串联以获得较大的电阻。采用几个电阻串联可构成分压器,使同一电源能供给几种不同数值的电压。当负载的额定电压低于电源电压时,可用串联电阻的方法将负载接入电源。采用电阻串联可以限制和调节电路中电流的大小,扩大电压表的量程等。

例 1-1-3:如图 1-1-17 所示,要使弧光灯正常工作,须供给 40 V 的电压和 10 A 的电流,现电源的电压为 100 V ,问应串联多大阻值的电阻?(不计电阻的功率)

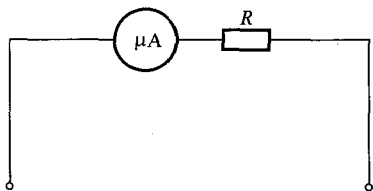


图 1-1-16 例 1-1-2 图

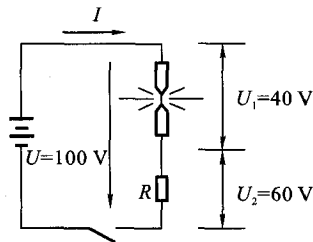


图 1-1-17 例 1-1-3 图

解:根据题意可知,串联后的电阻应承受的电压为:

$$U_2 = U - U_1 = 100 - 40 = 60 \text{ (V)}$$

这样,才能保证弧光灯所需的工作电压。根据欧姆定律,需要串联的电阻为:

$$R = \frac{U_2}{I} = \frac{60}{10} = 6 \text{ (}\Omega\text{)}$$

答:应串联 60Ω 的电阻。

二、电阻的并联

将几个电阻元件都接在两个共同端点之间的连接方式称为并联。图 1-1-18 所示的电路是由三个电阻并联组成的。

以图 1-1-18 所示的电路为例,并联电路的基本特点是:

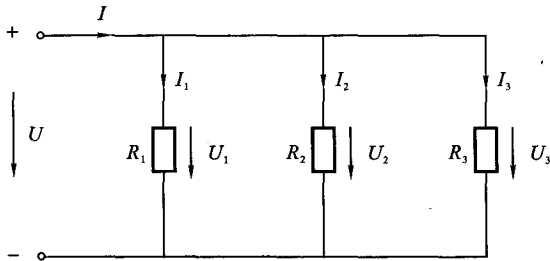


图 1-1-18 电阻并联

(1) 并联电阻承受同一电压,且等于路端的总电压,即 $U=U_1=U_2=U_3$ 。

(2) 总电流等于流过各电阻的电流之和,即 $I=I_1+I_2+I_3$ 。

(3) 总电阻的倒数等于各并联电阻的倒数之和,即 $\frac{1}{R}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}$ 。总电导 $G=G_1+G_2+G_3$,若只有两个电阻并联,其等效电阻可用下式计算:

$$R=R_1 // R_2 \text{ 即 } R=\frac{R_1 \times R_2}{R_1+R_2}$$

式中,符号“//”表示电阻并联。

(4) 总功率 $P=P_1+P_2+P_3$ 。

(5) 各支路分配的电流与各支路电阻成反比,即

$$I_1=\frac{RI}{R_1}; I_2=\frac{RI}{R_2}; I_3=\frac{RI}{R_3}$$

电阻并联具有分流作用,可扩大电流表的量程。在实际应用中,用电器在电路中通常都是并联运行的,属于相同电压等级的用电器必须并联在同一电路中,这样才能保证它们都在规定的电压下正常工作。

例 1-1-4:有三盏电灯接在 110 V 电源上,其额定值分别为 110 V、100 W,110 V、60 W,110 V、40 W,求总功率、总电流以及通过各灯泡的电流及等效电阻。

解:① 因外接电源符合各灯泡的额定值,各灯泡正常发光,故总功率为:

$$P=P_1+P_2+P_3=100+60+40=200 \text{ (W)}$$

② 总电流与各灯泡电流为:

$$I_1=\frac{P_1}{U_1}=\frac{100}{110}\approx 0.909 \text{ (A)}$$

$$I_2=\frac{P_2}{U_2}=\frac{60}{110}\approx 0.545 \text{ (A)}$$

$$I_3=\frac{P_3}{U_3}=\frac{40}{110}\approx 0.364 \text{ (A)}$$

$$I=\frac{P}{U}=\frac{200}{110}\approx 1.82 \text{ (A)}$$

③ 等效电阻为: