

职业技术教育电类系列教材

ZHIYE JISHU JIAOYU DIANLEI XILIE JIAOCAI

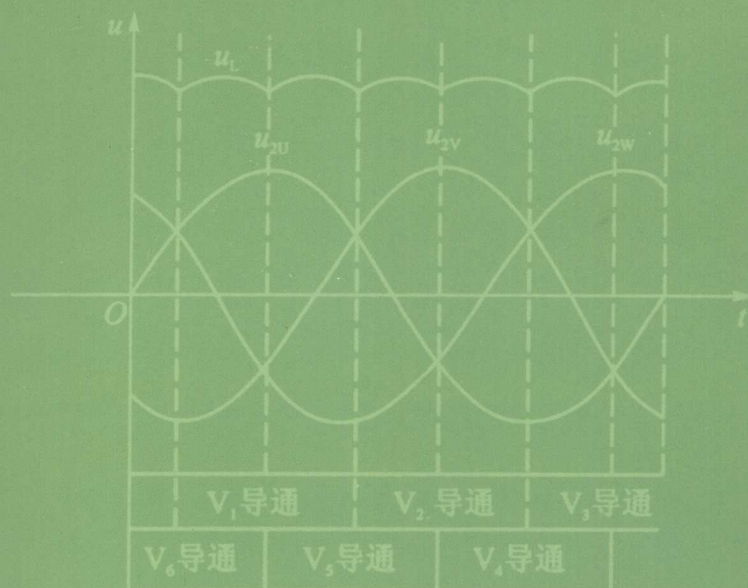
数控电工电子基础

安徽省高等教育“十一五”规划教材

SHUKONG DIANGONG DIANZI JICHU

● 主编 姚道如 马进中 副主编 安宗权 武永鑫

● 主审 杜少武



安徽科学技术出版社

安徽省高等教育“十一五”规划教材

数控电工电子基础

●主 编 姚道如 马进中
副主编 安宗权 武永鑫
参 编 吴金权 刘 兵 李蛇根
王 薇 陈 斌
主 审 杜少武

图书在版编目(CIP)数据

数控电工电子基础/姚道如,马进中主编. —合肥:安徽科学技术出版社,2009.2

(职业技术教育电类系列教材)

ISBN 978-7-5337-4306-2

I. 数… II. ①姚…②马… III. ①数控机床-电工技术-技术教育-教材②数控机床-电子技术-技术教育-教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 015236 号

数控电工电子基础

姚道如 马进中 主编

出版人:黄和平

责任编辑:何宗华 期源萍

出版发行:安徽科学技术出版社(合肥市政务文化新区圣泉路 1118 号)

出版传媒广场,邮编:230071)

电话:(0551)3533330

网址:www.ahstp.net

E-mail:yougoubu@sina.com

经销:新华书店

排版:安徽事达科技贸易有限公司

印刷:合肥瑞丰印务有限公司

开本:787×1092 1/16

印张:14.5

字数:371 千

版次:2009 年 2 月第 1 版 2009 年 2 月第 1 次印刷

印数:2 000

定价:27.00 元

(本书如有印装质量问题,影响阅读,请向本社市场营销部调换)

前 言

数控机床是集计算机技术、自动控制技术、传感器技术、现代制造技术等先进技术于一体的机电一体化产品,而《电工电子技术》是学习数控机床相关知识与技能的必要基础,但原有的《电工电子技术》由于偏理论、缺少新技术引入及针对性不强而不能适应高职教育教学的需要。

本教材采用任务驱动型模式编写,按照理实一体化模式教授,力求将知识点和技能点有机地结合起来。作者根据数控机床维护与维修岗位的特点,在研究《数控机床电气控制》和《数控机床故障诊断与维修》的基础上,寻找适合高职数控专业电工电子技术的知识点和技能点,以够用为度,淡化理论,引入新的技术。

本教材适用于数控、模具专业高职学生使用,是数控、模具专业的基础课程。本课程的后续课是电气控制与 PLC、数控机床电气控制、数控机床故障诊断与维修。

本教材由安徽职业技术学院姚道如副教授任主编并编写了单元五课题 5.5、实训五、单元十一、十二,安徽机电职业技术学院马进中副教授任第二主编并编写了单元二、三、四,芜湖职业技术学院安宗权老师任副主编并编写了单元八,阜阳职业技术学院武永鑫老师任副主编并编写了单元一、九、十三,合肥通用职业技术学院吴金权老师编写了单元五课题 5.1、5.2、5.3、5.4、单元七课题 7.2、单元十四,安徽工业经济职业技术学院李蛇根老师编写了单元六、单元七课题 7.1、7.3、实训七,淮北职业技术学院刘兵老师编写了单元十,全书由姚道如统稿。

合肥工业大学杜少武教授审阅了全书并提出了宝贵意见,在此表示诚挚的谢意。由于作者水平有限,书中疏漏和错误之处在所难免,殷切希望同行和同学们批评指正。

编 者

目 录

单元一 直流电路	1
课题 1.1 直流电路的组成及基本物理量	1
课题 1.2 欧姆定律及电源工作状态	5
课题 1.3 电阻元件和常用导线	8
课题 1.4 电容元件	15
课题 1.5 电感元件	16
实训一 万用表的使用	16
思考与练习	21
单元二 单相正弦交流电路	22
课题 2.1 交流电基本知识	22
课题 2.2 正弦交流电表示法和正弦交流电合成	25
课题 2.3 纯电阻电路	26
课题 2.4 纯电感电路	28
课题 2.5 纯电容电路	29
课题 2.6 实际线圈	31
课题 2.7 功率因数	33
实训二 日光灯、电容的万用表测量法.....	33
思考与练习	35
单元三 三相交流电路	36
课题 3.1 三相交流电源	36
课题 3.2 三相负载及功率	37
实训三 电能表的使用	38
思考与练习	40
单元四 变压器	41
课题 4.1 变压器结构和工作原理	41
课题 4.2 专用变压器	45
实训四 互感器的使用 钳形电流表的使用	48
思考与练习	52
单元五 一般电动机及数控机床控制电机	53
课题 5.1 三相异步电动机的结构与铭牌	53
课题 5.2 三相异步电动机转动原理与运行分析	57
课题 5.3 单相异步电动机	63

课题 5.4 直流电动机	65
课题 5.5 数控机床用控制电机	70
实训五 三相异步电动机检测与启动	82
思考与练习	84
单元六 机床常用低压电器及控制电路	86
课题 6.1 常用低压电器	86
课题 6.2 三相异步电动机基本控制电路	97
课题 6.3 三相异步电动机正反转控制电路	99
课题 6.4 三相异步电动机减压启动线路	100
课题 6.5 三相异步电动机制动线路	102
实训六 三相异步电动机正反转控制电路连接	104
思考与练习	105
单元七 安全用电技术	106
课题 7.1 基本知识	106
课题 7.2 防护技术	108
课题 7.3 电气火灾消防知识	113
实训七 接地线、单相三孔电源插座的安装	116
思考与练习	117
单元八 常用半导体器件及应用	118
课题 8.1 二极管及其应用	118
课题 8.2 晶体三极管及其应用	129
实训八 用模拟式万用表测量二极管和三极管电路特性	140
思考与练习	142
单元九 集成运算放大器	143
思考与练习	145
单元十 数字电路	146
课题 10.1 数制及编码	146
课题 10.2 基本逻辑门电路	150
课题 10.3 触发器	159
课题 10.4 计数器	166
课题 10.5 译码及显示器	168
课题 10.6 555 集成定时器及应用	172
课题 10.7 A/D 和 D/A 转换	174
思考与练习	179
单元十一 电动机变频调速	183
课题 11.1 电力电子器件及应用	183
课题 11.2 PWM 变频调速	190

课题 11.3 MATLAB 仿真简介	194
思考与练习	199
单元十二 自动检测在数控机床上的应用	201
课题 12.1 自动检测技术简介	201
课题 12.2 数控机床用传感器	203
思考与练习	213
单元十三 自动控制基础	214
课题 13.1 自动控制系统及控制方式	214
课题 13.2 自动控制系统技术指标	216
思考与练习	217
单元十四 微型计算机及单片机常识	218
思考与练习	223

单元一

直流电路

学习目标

通过本章学习,熟悉直流电路结构,理解电动势大小及方向、电流、电压、电位、电功率、电能等概念;熟悉欧姆定律表达式,会分析电路三种状态及外特性;理解电阻含义,能识别导线,学会导线连接,能对串并联电路进行分析和计算,学会各点电位计算和测量;能对电感和电容进行计算和使用;学会万用表的使用。

课题 1.1 直流电路的组成及基本物理量

用电设备通过连接导线接到电源中才能使用,用电设备、连接导线和电源等在一起构成了一个有机的整体,这个整体就是一个闭合电路。电路可分成直流电路和交流电路,由于交流电路和直流电路的构成差不多,我们现在就先从直流电路入手来进行讨论。

一、问题提出及电路组成

人们经常戴的旅游帽如图 1.1 所示,当开关 2 接通时,小电扇 4 就会转动起来,送来微微小风,使人们顿感凉爽。从这个最简单的电路可以看到,它由于电池、开关、导线、小电扇四个部分组成,干电池为电源,小电扇为负载,从而得知:一个电路由四个基本部分组成,即电源、开关、连接导线、负载。如果将此实物图用符号表示,则可以得到图 1.2 所示的电路模型。本课程先对直流电源及电路基本物理量进行介绍,开关、连接导线、负载将在后面有关章节进行阐述。

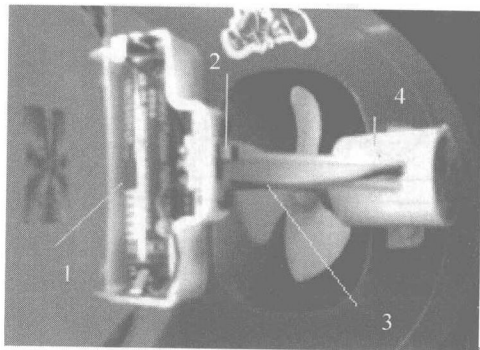


图 1.1 微电风旅游帽

1—干电池 2—开关 3—导线 4—小电扇

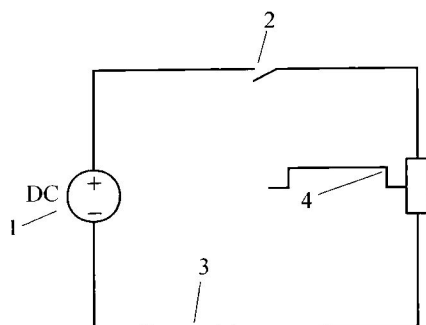


图 1.2 电路

1—电源 2—开关 3—导线 4—负载

二、直流电源

几种常用的直流电源如图 1.3 至图 1.5 所示。常用干电池如图 1.3 所示,可用于遥控器、电动玩具、手电筒、收录机、照相机等;汽车用蓄电池如图 1.4 所示;电动自行车用电池如图 1.5 所示。直流电源有正负极,例如,干电池凸出的一端为电源正极,凹进的一端为电源负极。一般情况下,电源正极用“+”标出,负极用“-”标出。



图 1.3 干电池



图 1.4 汽车蓄电池



图 1.5 电动自行车电池

直流电源还可以由交流电源转变而来,这将在后面二极管和晶闸管部分再作详细介绍。直流电源的应用是比较广泛的。

直流电源可以分为直流电压源和直流电流源。直流电压源是指电源两端的电压基本不随外电路的变化而变化;直流电流源是指电源发出的电流基本不随外电路的变化而变化。这里重点介绍一下直流电压源,直流电压源有电动势和内电阻。

电动势表征非静电力在电源内部搬运电荷所做的功与被移送电荷量的比值,通常用 E 表示,单位是伏特,简称伏,符号“V”;其方向在电源内部由电源负极指向电源的正极。干电池每节是 1.5V;蓄电池每个单元为 2V,常用的有 12V、24V 等。由交流电源转变而来的直流电源可取任意所需值。

内电阻是电源内部所具有的电阻,通常用 r 表示,单位是欧姆,简称欧,符号“ Ω ”。

三、基本物理量

(一)电 压

负载通电时两端会有电压,电压是什么呢?

电场力把单位正电荷从电场中点 A 移到点 B 所做的功 W_{AB} 称为 A、B 间的电压,用 U_{AB} 表示,即

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

式中 U_{AB} ——A、B 间的电压(V);

W_{AB} ——电场力把单位正电荷从电场中点 A 移到点 B 所做的功(J);

q ——单位正电荷(C)。

电压的单位为 V(伏[特])。如果电场力把 1C 电量电荷从点 A 移到点 B 所做的功是 1J(焦耳),则 A 与 B 两点间的电压就是 1V。电压单位有 kV(千伏)、V(伏[特])、mV(毫伏)、 μ V(微伏)等。其换算关系为: $1\text{kV} = 10^3\text{V}$, $1\text{V} = 10^3\text{mV}$, $1\mu\text{V} = 10^{-6}\text{V}$ 。

电压的实际方向规定为从高电位点指向低电位点。

负载额定电压是指负载正常工作的电压。

如标有“JZ12-15”的白炽灯泡,查电工手册可看出,白炽灯泡的额定电压是 12V。

(二)电 位

像水的高度用水位表示一样,电路中每一点都有一定的电位,正是因为电位的不同,才使

电荷产生了移动,为了衡量各点的电位,必须要选择一个参考点,规定该参考点电位为0,习惯上取大地为参考点,即取大地电位为0。

某点的电位就是该点与零电位点之间的电压。电位通常用 V 表示,如 V_A 表示点 A 的电位。电位单位是 V (伏[特]),无方向。

电压与电位的关系是 $U_{AB}=V_A-V_B$,通过这种关系,可由电位算出电压或由电压算出电位。

(三)电功率

单位时间内电场力所做的功称为电功率,即

$$P = \frac{W}{t} \quad (1-2)$$

式中 P ——电功率(W);

W ——电功(J);

t ——时间(s)。

式(1-2)是电功率定义式。电功率单位有 W (瓦[特])、 kW (千瓦)、 mW (毫瓦)、 μW (微瓦)等,它们之间的关系是: $1kW=10^3W$, $1W=10^3mW$, $1mW=10^3\mu W$ 。额定功率是指用电设备正常工作时的功率。

很多情况下,额定功率由用电设备铭牌给出,查电工手册,可知道额定值大小,如标有“JZ12-15”的白炽灯泡,其额定功率为 $15W$ 。电功率还可以通过功率表测出。

除了电功率定义 $P = \frac{W}{t}$ 外,电功率还可以使用式(1-3)和式(1-4)进行计算,式(1-3)为一般计算公式,对于电阻来说,还可使用式(1-4)进行计算。

$$P = UI \quad (1-3)$$

$$P = I^2 R = \frac{U^2}{R} \quad (1-4)$$

式中 P ——电功率(W);

I ——流过负载的电流(A);

U ——负载两端的电压(V);

R ——负载电阻(Ω)。

(四)电 流

电流是电荷定向移动而形成的,电路工作时,电源、导线、开关、负载等都有电流。电流的大小用电流强度表示,简称电流,通常用 I 表示。

电流强度:单位时间内通过导体截面的电荷量,即

$$I = \frac{q}{t} \quad (1-5)$$

式中 I ——电流强度(A);

q ——电荷量(C);

t ——时间(s)。

电流方向规定为正电荷移动的方向。在电源内部电流由负极流向正极,在电源外部电流由正极流向负极。

电流的单位有 kA (千安)、 A (安)、 mA (毫安)、 μA (微安)和 nA (纳安)等,其换算关系为: $1mA=10^{-3}A$, $1\mu A=10^{-6}A$, $1nA=10^{-9}A$ 。

大小和方向均不随时间变化的电流叫恒定电流,简称直流。

在实际问题处理中,电流强度很少用公式(1-5)来求,而往往通过计算和测量来获得。

对于用电设备来说,可通过公式(1-6)计算电流。

$$I = \frac{P}{U} \quad (1-6)$$

式中 P ——电功率(W);

U ——电压(V);

I ——电流(A)。

根据公式(1-6),在功率和电压已知的情况下,可算出电流;如果功率和电压为额定值,则算出的电流也为额定值。

如标有“JZ12-15”的白炽灯泡,其额定电流 $I = \frac{P}{U} = \frac{15}{12} = 1.25(\text{A})$ 。

(五)电 能

电能表示负载消耗的能量,在知道功率和时间的情况下,可以由公式(1-2)将电能 W 求出。

电能的单位是焦耳(J),而工业和生活中常用“度”作单位,1“度”电表示功率为1千瓦的用电设备工作1小时所消耗的电能,1“度”=1千瓦时,即1“度”=1千瓦 $\times$ 1小时=1千瓦时=1000W $\times$ 3600s=3.6 $\times 10^6$ W $\cdot$ s=3.6 $\times 10^6$ J。

如标有“JZ12-15”的白炽灯泡,照明两小时消耗电能为 $W = 0.015 \times 2 = 0.03(\text{千瓦时}) = 0.03(\text{度})$ 。

课题 1.2 欧姆定律及电源工作状态

欧姆定律是一个阐述电流、电压(电动势)、电阻三者之间关系的定律,根据研究对象和范围的不同,可将欧姆定律分为部分电路欧姆定律和全电路欧姆定律。

一、欧姆定律

(一)部分电路欧姆定律

部分电路欧姆定律研究含有电阻的一段电路的电流、电压、电阻三者之间关系,这段电路不包含电源,如图1.6所示,电流、电压、电阻三者之间关系由公式(1-7)给出。

$$I = \frac{U}{R} \quad (1-7)$$

式中 I ——电流强度(A);

U ——电压(V);

R ——负载电阻(Ω)。

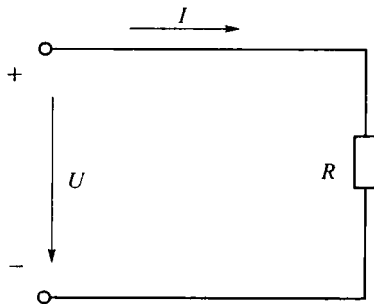


图 1.6 部分电路

(二)全电路欧姆定律

全电路欧姆定律研究包含电源在内的闭合电路的电流、电动势、电阻三者之间关系,如图 1.7 所示,公式(1-8)给出了三者之间关系。

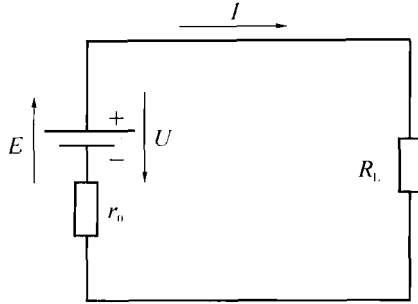


图 1.7 闭合电路

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

式中 I —— 电流强度(A);
 E —— 电源电动势(V);
 R_L —— 负载电阻(Ω);
 r_0 —— 电源内阻(Ω)。

二、电路状态

电路的状态主要有三种:通路、开路、短路。

(一)通 路

当电源接有负载且和负载构成闭合回路时,我们说该电路处于通路状态。如图 1.7 所示,此时

电路中电流: $I = \frac{E}{R_L + r_0}$;

电源内: 压降 $U_{内} = I \times r_0$, 消耗功率 $P_{内} = I^2 \times r_0$;

电源两端: 输出电压 $U = E - I \times r_0$, 输出功率 $P = P_{源} - I^2 \times r_0$;

负载: 两端电压 $U_R = I \times R = U = E - I \times r_0$ (忽略连接导线电压降), 消耗功率 $P_R = U_R \times I_R = \frac{U_R^2}{R} = I_R^2 \times R$ 。

电源内消耗的功率是我们不希望的,它是无用的功率损耗,这些能量被转换成热散发到空气中,如果这部分能量过大,热量来不及散发,会降低电源使用效率和使用寿命。

连接导线本身有电阻,当电流流过时,导线上也有电压降,消耗一部分能量,这部分能量也是无用的,热量过大会影响导线的使用。

通路又可以分为满载、轻载、过载。满载是指电气设备的电流、电压和消耗的功率等于额定值的情况,一般情况下,电气产品的额定值都在产品上标明,如前面“JZ12-15”表示白炽灯泡的额定电压为 12V,额定功率为 15W,通常要求负载工作在满载状态;轻载是指电气设备的实际电流小于其额定电流时的工作状态;过载是指电气设备的实际电流大于其额定电流时的工作状态。

(二)开 路

开路是指负载与电源断开的情况,如图 1.8 所示,这时, $I = 0$, 电源内电压降 $U_{内} = I \times r_0 = 0$

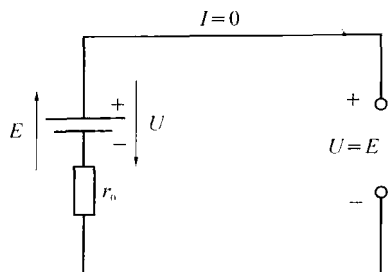


图 1.8 开 路

电源输出电压 $U = E - I \times r_0 = E$, 电源的工作状态为空载状态。

(三)短 路

电源处于短路状态如图 1.9 所示, 导线将负载两端直接相接, 电流不再流过负载。此时, 电流 $I = \frac{E}{R_L + r_0} = \frac{E}{r_0}$, 电源输出电压 $U = 0$ 。

短路很危险, 往往会引起火灾等电气事故, 应做到: 一要防止短路, 正确使用电气设备, 避免短路发生; 二是要在电路中接入短路保护装置, 如熔断器等, 当短路发生时, 能立刻自行切断电路。

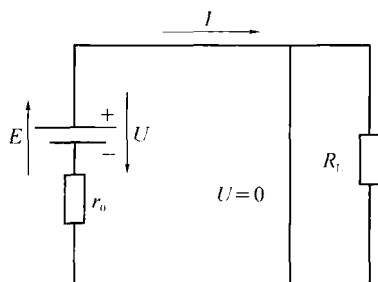


图 1.9 短 路

三、电压源外特性

电压源外特性是指电压源输出电压与电路电流的关系, 由全电路欧姆定律 $I = \frac{E}{R_L + r_0}$ 得到 $E = I \times R_L + I \times r_0 = U + I \times r_0$, 从而 $U = E - I \times r_0$, 把 E 和 r_0 看做常数, 以输出电压 U 作纵坐标轴, 电流 I 为横坐标轴, 将 U 和 I 的关系画出, 如图 1.10 所示, 它是一条直线, 电流越大, 输出电压越小。

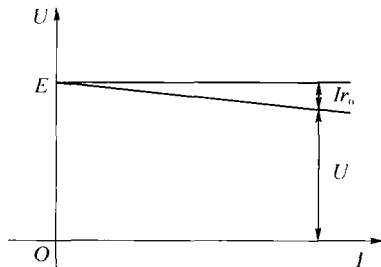


图 1.10 电压源外特性

课题 1.3 电阻元件和常用导线

一、电阻元件

电阻元件是反映电路耗能性质的一种电路元件,也是电路中基本的、不可缺少的元件,它的主要作用是限流和调压。

常用电阻一般分为固定电阻器和可变电阻器两大类。固定电阻器的阻值固定不变,可变电阻器的阻值根据需要可以在一定范围内进行调节。固定电阻器也简称电阻,根据材料和工艺的不同,其可分为碳膜电阻器(RT)、金属膜电阻器(RJ)、线绕电阻器(RX)、热敏电阻器(RR)、光敏电阻器(RG)等不同类型。可变电阻器可分为半可调电阻器和电位器两类。图 1.11 表示的是某企业生产的不燃性金属氧化膜固定电阻,图 1.12 表示的是金属片无感水泥电阻。

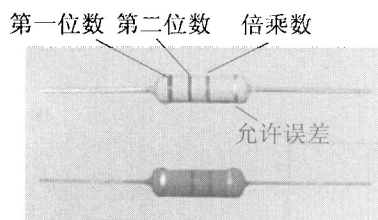


图 1.11 不燃性金属氧化膜固定电阻

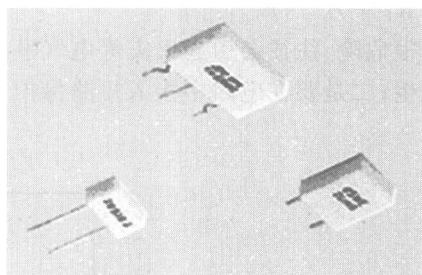


图 1.12 金属片无感水泥电阻

电阻参数主要有电阻值、温度系数、过负荷、耐电压等。

二、电阻值计算

(一)电阻的一般计算式

一般的,导线电阻值可以由式(1-9)给出:

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (1-9)$$

式中 L —— 长度(m);

S —— 横截面积(m^2);

ρ —— 电阻率($\Omega \cdot \text{m}$)。

式(1-9)表达的关系称为电阻定律,表示导体电阻值由导体的电阻率、长度、横截面积决定。

电阻单位有欧姆(Ω)、千欧($\text{k}\Omega$)和兆欧($\text{M}\Omega$)。其换算关系为: $1\text{k}\Omega=10^3\Omega$, $1\text{M}\Omega=10^6\Omega$ 。

几种常用的导电材料电阻率($\Omega \cdot \text{m}$):

银(化学纯): 1.47×10^{-8}

钨: 5.3×10^{-8}

铜(化学纯): 1.55×10^{-8}

锰铜: 42×10^{-8}

铜(工业纯): 1.7×10^{-8}

康铜: 44×10^{-8}

铝: 2.5×10^{-8}

(二)温度变化时的电阻值

当温度变化时,导线的电阻也随着变化,公式(1-10)反映了它们的关系。

$$R_2 = R_1[1 + \alpha(t_2 - t_1)] \quad (1-10)$$

式中 R_1 ——温度为 t_1 时的电阻值(Ω);

R_2 ——温度为 t_2 时的电阻值(Ω);

α ——温度系数($\Omega/^\circ\text{C}$)。

一般情况下,电气设备都有电阻。

三、电阻元件的伏安特性

电阻元件两端的电压和通过电阻元件的电流之间的关系称为伏安特性,可以写成数学式表示,也可以在坐标系中画出图像描述。

四、固定电阻型号及表示

(一)型 号

固定电阻型号由四个部分组成,第一部分为主称,第二部分表示材料,第三部分表示特征,第四部分表示序号。主称用字母 R、W 表示,R 表示电阻器,W 表示电位器;材料用字母 T、J、Y、M、C、R 等表示,T 表示碳膜,J 表示金属膜,Y 表示氧化膜,M 表示压敏,C 表示光敏,R 表示热敏;特征用 1、2、3、4、5……及字母 G、T 等表示,含义为普通、高温、精密、高功率等。如 RJ73,R 表示电阻器,J 表示金属膜,7 表示精密,3 为序号。

(二)电阻值表示方法

电阻大小的表示方法可以使用直标法,也可以使用色标法、文字符号法等。

1. 直标法

直标法是将电阻器的电阻值和误差直接用数字和字母标在电阻器上,也有采用习惯表示的,如“3 Ω 3 I”表示电阻值为 3.3 Ω ,允许误差为 I 类,即 $\pm 5\%$ 。

2. 色标法

用不同颜色的色环涂在电阻上用来表示电阻值及允许误差。部分电阻色环符号的意义见表 1-1。例如红红棕棕表示电阻大小为 220 Ω ,误差为 $\pm 1\%$ 。

表 1-1 部分电阻色环符号意义

颜色	第一位数	第二位数	倍乘数	允许误差(%)
棕	1	1	10^1	± 1
红	2	2	10^2	± 2
橙	3	3	10^3	
黄	4	4	10^4	

3. 文字符号法

文字符号法,例如,3M3K 表示电阻值大小为 3.3M Ω ,允许误差为 $\pm 10\%$ 。

(三)电阻额定功率的识别

电阻额定功率是指电阻在直流或交流电路中,长期连续工作所允许消耗的最大功率,往往将其大小直接标在电阻器上。

五、多个电阻连接情况

当有多个电阻使用同一电源时,需要将多个电阻连接起来,这些电阻可以按照不同的需要

以不同的方式连接。

(一)三个电阻串并联

1. 电阻串联

由若干个电阻顺序地连接成一条无分支的电路,称为串联电路。三个电阻的串联电路如图 1.13 所示,设 R_1 、 R_2 、 R_3 上的电流分别为 I_1 、 I_2 、 I_3 ,对应的电压分别为 U_1 、 U_2 、 U_3 ,对应的电功率分别为 P_1 、 P_2 、 P_3 , R_1 、 R_2 、 R_3 串联起来总的效果用 R 表示。

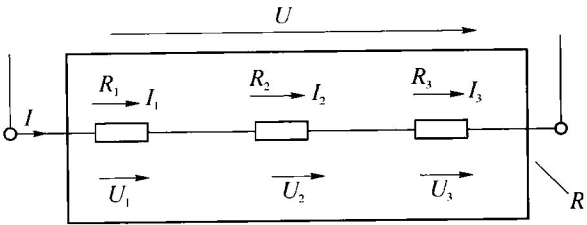


图 1.13 三个电阻串联

电阻元件串联具有以下特点:

(1) $I_1 = I_2 = I_3$ (1-11)

即流过各串联电阻的电流相等。

(2) $R = R_1 + R_2 + R_3$ (1-12)

R 为等效电阻。

(3)总电压 $U = U_1 + U_2 + U_3$ (1-13)

(4)总功率 $P = P_1 + P_2 + P_3$ (1-14)

(5)电阻串联具有分压作用,即

$$U_1 = \frac{R_1 U}{R} \quad U_2 = \frac{R_2 U}{R} \quad U_3 = \frac{R_3 U}{R} \quad (1-15)$$

由此看出,电阻越大,分得的电压也越大。

思考:由若干个电阻串联时,其特点是什么?

2. 电阻并联

所谓并联是指将几个电阻元件都接在两个共同端点之间的连接方式,即几个电阻的一端连接在一起,另一端也连在一起,三个电阻的并联如图 1.14 所示, R_1 、 R_2 、 R_3 合起来可以等效成 R ,即可以将图 1.14 等效成图 1.15 电路,设 R_1 、 R_2 、 R_3 上的电流分别为 I_1 、 I_2 、 I_3 ,对应的电压分别为 U_1 、 U_2 、 U_3 ,对应的电功率分别为 P_1 、 P_2 、 P_3 。

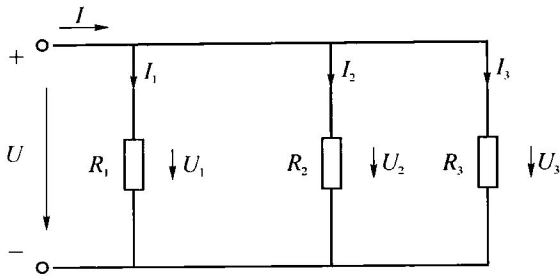


图 1.14 三个电阻并联

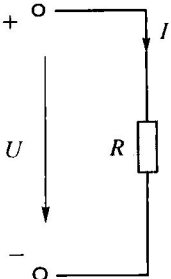


图 1.15 图 1.14 等效电路