



全国职业教育
城市轨道交通专业规划教材

互联网 + 教科书

建议在免费无线网络下扫描书中二维码



QQ 群 (教师专用): 129327355

职教轨道交通教研群
扫二维码 索取课件

第2版

城市轨道交通 电工电子技术及应用

CHENGSHI GUIDAO JIAOTONG DIANGONG DIANZI JISHU JI YINGYONG

主 编 · 单永欣



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

全国职业教育城市轨道交通专业规划教材

Chengshi Guidao Jiaotong Diangong Dianzi Jishu ji Yingyong
城市轨道交通电工电子技术及应用

(第2版)

单永欣 主 编



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

内 容 提 要

本书为全国职业教育城市轨道交通专业规划教材。其主要内容包括:绪论、直流电路、正弦交流电路、磁路与变压器、电动机、城市轨道交通供电及用电知识、常用半导体器件、交流放大电路、集成运算放大器及其应用、直流电源、数字电路、城市轨道交通中的运动系统,共12个部分。

本书是城市轨道交通相关专业的专业基础课教材,可供职业院校相关专业教学使用,也可作为城市轨道交通行业岗位技能培训或自学用书,同时可供城市轨道交通行业工程技术人员学习参考。

* 本书配有多媒体课件,读者可通过加入职教轨道教学研讨群(教师专用QQ群:129327355)免费索取。

图书在版编目(CIP)数据

城市轨道交通电工电子技术及应用/单永欣主编

.—2版.—北京:人民交通出版社股份有限公司,

2018.8

ISBN 978-7-114-14716-6

I. ①城… II. ①单… III. ①城市铁路—轨道交通—
电工技术②城市铁路—轨道交通—电子技术 IV.

①U239.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第178189号

全国职业教育城市轨道交通专业规划教材

书 名:城市轨道交通电工电子技术及应用(第2版)

著 者:单永欣

责任编辑:司昌静

责任校对:宿秀英

责任印制:张 凯

出版发行:人民交通出版社股份有限公司

地 址:(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址:<http://www.ccpres.com.cn>

销售电话:(010)59757973

总 经 销:人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销:各地新华书店

印 刷:北京印匠彩色印刷有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:15.5

字 数:362千

版 次:2018年8月 第2版

印 次:2018年8月 第1次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-14716-6

定 价:45.00元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

前 言

根据职业教育“校企合作、工学结合”培养应用型技能人才的特点,本书内容的基本理论以必须、够用为度,尽量减少数理论证,以掌握概念、突出应用、培养技能为教学重点,围绕职业能力的形成,组织课堂教学内容。

城市轨道交通行业涉及工程、车辆、供电、机电、通信信号、运营管理等多个专业门类,而电力的供应和保障、用电设备的正常运行是城市轨道交通安全运营的关键所在。本书理论联系实际,将电工电子的知识内容贯穿到城市轨道交通的应用中,使学生通过学习能把电工电子理论知识应用到实际,具备电工电子操作技能。

本书按照知识点进行模块设计,共12个部分,分别为绪论、直流电路、正弦交流电路、磁路与变压器、电动机、城市轨道交通供电及用电知识、常用半导体器件、交流放大电路、集成运算放大器及其应用、直流电源、数字电路和城市轨道交通远动控制系统。

本书编写工作分工如下:上海交通大学职业技术学院单永欣编写绪论、模块二、三、四、十、十一;西安科技商贸职业学院屈宝丽编写模块六至九;上海交通大学职业技术学院黄艳飞编写模块一;上海铁路局孙连庆、上海现代交通建设发展有限公司韩祥、上海交通大学职业技术学院单永欣合编模块五。全书由上海交通大学职业技术学院单永欣主编并统稿。

本书在编写过程中得到了北京地铁、上海地铁、京港地铁、兰州地铁和广州地铁等公司的大力支持,再次改版得到了上海铁路局、上海现代交通建设发展有限公司的大力支持,在此表示衷心的感谢。编写过程中还参阅了大量专业书籍、

报纸、杂志上的专题文章,书末列出了参考文献,在此我们向其作者表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,加之时间仓促,书中不足之处,敬请读者批评指正。

作者

2018年3月

目 录

绪论	1
模块一 直流电路	3
单元一 电路及其基本物理量	3
单元二 电路模型	7
单元三 基尔霍夫定律	12
单元四 电阻串并联连接的等效变换	16
单元五 电路的三种状态	19
单元六 支路电流法	20
单元七 电路中电位的分析与计算	21
单元八 叠加原理	23
单元九 戴维南定理	26
复习与思考	29
模块二 正弦交流电路	32
单元一 正弦交流电	32
单元二 单一参数的正弦交流电路	40
单元三 典型正弦交流电路的分析	49
单元四 交流电路中的谐振	57
单元五 三相交流电路	62
单元六 三相交流电路的测量	68
复习与思考	72
模块三 磁路与变压器	75
单元一 磁路的基本概念	75

单元二 交流铁芯线圈及变压器	79
单元三 变压器的应用	84
复习与思考	89
模块四 电动机	90
单元一 三相异步电动机	90
单元二 三相异步电动机的使用	95
单元三 三相异步电动机的基本控制线路	99
单元四 直流电动机	107
单元五 直线电动机	111
复习与思考	113
模块五 城市轨道交通供电及用电知识	115
单元一 电力系统概述	115
单元二 城市轨道交通供电的构成	120
单元三 安全用电	122
复习与思考	131
模块六 常用半导体器件	132
单元一 半导体的基础知识	132
单元二 半导体二极管	135
单元三 特殊二极管	139
单元四 半导体三极管	141
复习与思考	147
模块七 交流放大电路	149
单元一 共射极基本放大电路	149
单元二 放大电路分析	151
单元三 分压偏置电路及静态工作点的稳定	155
单元四 多级放大电路	157
单元五 放大电路中的负反馈	158
单元六 功率放大电路	162
复习与思考	164
模块八 集成运算放大器及其应用	166
单元一 集成运算放大器简介	166
单元二 集成运放的线性应用	170
单元三 集成运放的非线性应用	173
单元四 RC 桥式正弦波振荡器	174

复习与思考	177
模块九 直流电源	178
单元一 直流稳压电源	178
单元二 整流电路	180
单元三 滤波电路	183
单元四 稳压电路	185
复习与思考	187
模块十 数字电路	189
单元一 概述	189
单元二 门电路	191
单元三 组合逻辑电路的分析与设计	195
单元四 编码器和译码器	198
单元五 双稳态触发器	203
单元六 计数器	207
单元七 寄存器	211
单元八 集成 555 定时器	213
单元九 数模和模数转换	217
单元十 ROM 和 RAM 存储器	221
复习与思考	224
模块十一 城市轨道交通中的远动系统	228
单元一 概述	228
单元二 数据通信系统	236
复习与思考	239
参考文献	240

绪论



教学目标

1. 了解课程基本内容;
2. 了解课程的特点与学习方法。



建议学时

1 学时

一、城市轨道交通用电需求

城市轨道交通是“用电大户”,其用电负荷按其功能不同可分为两大用电群体:一是城市轨道交通车辆,其运行需要牵引负荷;二是车站、区间、车辆段、控制中心等其他建筑物中,诸如通风机、空调、自动扶梯、电梯、水泵、照明、自动售检票系统(AFC)、防灾报警自动控制系统(FAS)、环境与设备监控系统(BAS)、通信系统、信号系统等,其运行需要动力照明用电。

在上述用电群体中,有不同电压等级的直流负荷、不同电压等级的交流负荷;有固定负荷、时刻在变化的运动负荷。每种用电设备都有自己的用电要求和技术标准,而且这种要求和标准又相差甚远。城市轨道交通供电系统就是要满足不同用户对电能的不同需求,以使其发挥各自的功能与作用。

二、城市轨道交通电气设备

城市轨道交通是个复杂的运输系统,作为城市轨道交通领域中最重要技术之一,自动化技术对城市轨道交通的运营起着至关重要的作用。嵌入式系统、数据采集与监控(SCADA)系统、可编程控制器(PLC)、现场总线、变频器、传感器、人机界面、工控机等自动化产品被广泛应用于轨道交通中。电气设备的正常运行在车辆管理、安全监控、电力检测以及保障轨道交通正常运营等方面发挥着重要作用。

三、课程特点与学习方法

“电”,看不见而且摸不着。电工电子学是一门理论性、抽象性强,实践性要求高的学科。

1. 了解学科的发展概况

本课程具有覆盖面广、知识面宽的特点。课程内容浓缩了电工基础、电机与拖动、模拟电子技术、数字电子技术、电工与电子测量等电类课程的知识。涉及强电、弱电的各个学科及其应用的基础知识。同时,与各行各业的生产及管理、与人们的日常生活联系紧密。随着科学技术及工业的发展,特别是电子技术的日新月异,使得该课程具有新知识多、新产品多、新技术多、新工艺多的特点。因此,它是一门覆盖面广、知识面宽、实践性强、适用性强、知识更新快的课程。

2. 课程的目的与任务

本课程的目的和任务是使学生获得电工和电子技术方面的基本理论、基本知识和基本技能,同时,使学生具备电工电子操作技能,掌握“电”在城市轨道交通中的应用。

3. 抓“三基”——基本概念、基本理论、基本分析方法

学习时,要抓住物理概念、基本理论、工作原理和分析方法;学习中,要处理好一般内容与重点内容的关系。

4. 找出“引入”和“结论”

找出前后内容的联系,理解问题的提出和解决方法。学会归纳总结,找规律,抓相互联系。课程内容庞杂繁多,要学会以俯视的角度看问题,保持清晰的思路,找出彼此间的内在联系。只有这样,才能举一反三,触类旁通,能在不同的条件下灵活运用所学知识。

5. 适量练习、巩固知识

通过练习习题,可以巩固和加深对所学理论的理解,并培养分析能力和运算能力。解题前,要对所学内容基本掌握;解题时,要看懂题意,注意分析。

6. 理论联系实际

通过试验,验证和巩固所学理论,训练试验技能,学会正确使用常用的电工电子仪器,并培养严谨的科学作风。

7. 了解电工电子技术新动态

经常浏览相关期刊、网站,了解电工电子技术的最新发展动态和新近推出的新产品及其大致功能特点,了解城市轨道交通行业自动化产品的应用。

模块一

直流电路

教学目标

1. 掌握电路的组成、主要物理量的概念；
2. 掌握欧姆定律的应用以及电压源和电流源；
3. 掌握基尔霍夫电压、电流定律,正确使用电压表、电流表；
4. 掌握电阻串联、并联的等效变换；
5. 了解电路的三种工作状态以及直流电流法；
6. 掌握电路中电位的计算与测量；
7. 掌握叠加定理和戴维南定理。

建议学时

19 学时

单元一 电路及其基本物理量

一、电路的组成和作用

电,在人们的生活中可谓无处不在,无论是工业、农业、国防科技,还是日常生活中,都得到广泛应用。小到手电筒、电话、电视机等,大到电车、飞机等,都与电息息相关。那什么是电?电又是如何使它们工作的呢?一个灯泡看似很简单,有了元件设备,为什么灯泡能亮起来呢?这是因为有电流回路的存在。

所谓电路,是指电流所流经的路径。也就是由电气设备和元器件按一定方式连接起来,为电荷流通提供了路径的总体,简称回路。如电阻、电容、电感、二极管、三极管和开关等构成的回路。

实际应用的电路都比较复杂,因此,为了便于分析电路的实质,通常用规定的图形符号表示,组成电路实际原件及其连接线,即画成所谓的电路图。其中导线和辅助设备合称为中间环节。

电路由电源、负载、连接导线和辅助设备四大基本部分组成。

1. 电源

电源是提供电能的设备。电源的功能是把非电能转变成电能。例如,电池是把化学能转变成电能,发电机是把机械能转变成电能。由于非电能的种类很多,转变成电能的方式也很多,所以目前实用的电源类型也很多,最常用的电源是干电池、蓄电池和发电机等。

2. 负载

在电路中使用电能的各种设备统称为负载。负载的功能是把电能转变为其他形式的能。例如,电炉把电能转变为热能,电动机把电能转变为机械能等。通常使用的照明器具、家用电器、机床等都可称为负载。

3. 连接导线

连接导线用来把电源、负载和其他辅助设备连接成一个闭合回路,起着传输电能的作用。

4. 辅助设备

辅助设备是用来实现对电路的通断、控制、保护及测量的。辅助设备包括各种开关(控制电路接通和断开的装置)、熔断器及测量仪表等。

二、电路的主要物理量

1. 电流

(1) 电流的形成

电荷的定向移动称为电流。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。而在某些液体或气体中,电流则是正离子或负离子在电场力作用下有规则地运动形成的。

(2) 电流的方向

在不同的导电物质中,形成电流的运动电荷可以是正电荷,也可以是负电荷,甚至两者都有。规定以正电荷移动的方向为电流的方向。

在分析或计算电路时,常常需要求出电流的方向。但当电路比较复杂时,某段电路中

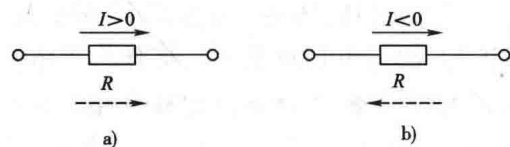


图 1-1 电流的方向

注:虚线为电流实际方向,实线为电流参考方向。

电流的实际方向很难确定,此时通常先假定电流的参考方向,然后列方程求解。若求出的电流为正值,则说明电流的实际方向与参考方向一致,如图 1-1a) 所示;反之,电流为负值,则说明电流的实际方向与参考方向相反,如图 1-1b) 所示。

若电流的方向和大小恒定不变,称为稳恒电流,简称直流,用 DC 来表示;若电流的方向和大小都随着时间的变化而变化,则称为交变电流,简称交流,用 AC 来表示。由直流电源供电的电路,称为直流电路;同样,由交流电源供电的电路,称为交流电路。

(3) 电流的大小

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的多少。通常规定用单位时间(1s)内通过导体横截面的电量来表示电流的大小,以字母 I 表示。若在 t 秒内通过导体横截面的电量是 Q ,则电流 I 可以用式(1-1)表示:

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

电流的单位是安培,简称安,用符号 A 表示;电量的单位是库仑,简称库,用 C 来表示。电流的单位还有 kA、mA、 μ A,其换算关系为:

$$1\text{kA} = 1 \times 10^3 \text{A} \quad 1\text{A} = 1 \times 10^3 \text{mA} \quad 1\text{mA} = 1 \times 10^3 \mu\text{A}$$

2. 电压与电动势

(1) 电压

带电体的周围存在电场,电场对处在电场中的电荷有力的作用。当电场力使电荷移动时,电场力对电荷做了功。规定:电场力把单位正电荷由 a 点移向 b 点所做的功,称之为 a 、 b 两点间的电压,用符号 U_{ab} 来表示。电压的单位是伏特,用 V 来表示。电压常用的单位还有:kV、mV、 μ V,其换算关系如下:

$$1\text{kV} = 1 \times 10^3 \text{V} \quad 1\text{V} = 1 \times 10^3 \text{mV} \quad 1\text{mV} = 1 \times 10^3 \mu\text{V}$$

规定电压的实际方向为高电位端指向低电位端。在电路中用箭头、“+”、“-”或者双下标 U_{ab} 表示,如图 1-2 所示。

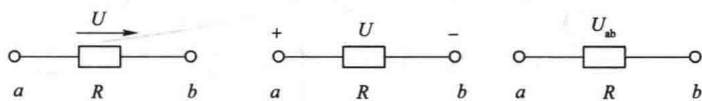


图 1-2 电压的方向

电压的参考方向也可以任意选定。但在外电路中常选择电压电流方向相同,称为关联参考方向,在电路图中只需标明一个参考方向(电压或电流)。若计算结果为正,则实际方向与参考方向相同;若为负,则实际方向与参考方向相反。

(2) 电动势

电动势是描述电源性质的重要物理量。即电源把正电荷从负极移到正极所做的功与该电荷电量的比值,称为电源的电动势。用公式表示为:

$$E = \frac{W}{q} \quad (1-2)$$

电动势用符号 E 来表示,单位常用“伏(V)”来表示。

电动势只存在于电源内部,数值上等于电源没有接入电路时两极间的电压,其方向是由电源负极指向正极,与电压方向相反,如图 1-3 所示。

(3) 电动势与端电压的关系

电源的端电压是指电源加在外电路两端的电压,是静电力把单位正电荷从正极经外电路移到负极所做的功。电源的电动势对一个固定电源来说是不变的,而电源的端电压却是随外电路的负载而变化的。

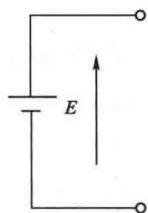


图 1-3 电动势的方向



小贴士

端电压与电动势的关系

只有当电源电路在开路状态时(此时 $I=0$),端电压和电动势在数值上是相同的,并且也有相同的单位(V),但它们的物理意义不同。电动势仅仅存在于电源内部,而电压不仅存在于电源两端,也存在于电源外部。

3. 电功率与电能

(1) 电功率

单位时间电流所做的功称为电功率,用以表示电场力做功的快慢。用字母 P 表示,单位为 W 。

$$P = \frac{W}{t} = UI = I^2R = \frac{U^2}{R} \quad (1-3)$$

式中, P 、 W 、 t 的单位分别为 W 、 J 、 s 。

在实际应用中,电功率的单位还有 kW ,它和瓦(W)的换算关系为:

$$1kW = 10^3 W$$

【例 1-1】 一个 100Ω 的电阻流过 $50mA$ 的电流时,求电阻上的电压降和电阻消耗的功率;当电流通过时间为 $1min$ 时,电阻消耗的电能是多少?

解:由欧姆定律得电压降:

$$U = IR = 0.05 \times 100 = 5(V)$$

消耗的功率:

$$P = UI = 5 \times 0.05 = 0.25(W)$$

消耗的电能:

$$W = Pt = 0.25 \times 60 = 15(J)$$

(2) 电功

电流所做的功,简称电功(即电能),用字母 W 表示。如电流流过日光灯管时,日光灯发光;电流流过电阻时,电阻会发热。这说明电流流过用电设备时,用电设备将电源提供的电能转变成其他形式的能量,电流做功。

电流在一段电路上所做的功等于这段电路两端的电压 U 、电路中的电流 I 和通电时间 t 三者的乘积,即:

$$W = UIt \quad (1-4)$$

式中, W 、 U 、 I 、 t 的单位分别为 J 、 V 、 A 、 s 。

在实际应用中,电能的另一个常用单位是千瓦时($kW \cdot h$),即通常所说的 1 度电, $1 \text{度} = 1kW \cdot h = 3.6 \times 10^6 J$ 。

(3) 电流的热效应

电流通过导体时使导体发热的现象称为电流的热效应。电流与它流过导体时所产生的热量之间的关系可用式(1-5)表示。

$$Q = I^2 R t \quad (1-5)$$

式中, Q 的单位是 J, 这种热也称焦耳热。

当电阻元件通过电流时, 由于电流的热效应, 导体和周围空气的温度升高。电流的热效应也有有害的一面。如电流通过输电线、电动机、变压器等时, 会使元件本身线圈发热, 不仅使能量浪费, 还会造成温度过高而烧毁设备。所以, 电气设备安全工作时所允许的最大电流、最大电压和最大功率分别称为它们的额定电流、额定电压和额定功率。如常见的灯泡上标注的 220V 60W 或电阻上标注的 100Ω 2W 等都是额定值。

三、直流电在城市轨道交通中的应用

在轨道交通供电系统中, 直流牵引供电系统直接给列车提供动力, 其好坏直接影响整个地铁供电系统质量的高低。如果牵引供电系统出现问题, 小则影响某个变电站、几个供电区间的输电, 大则引起整个牵引供电系统崩溃, 给地铁列车的安全运营造成影响。图 1-4 为双机组双边供电方式, 分别向上行、下行车辆进行主备供电, 两个相邻的牵引变电站同时向站内同一馈电区间供电。

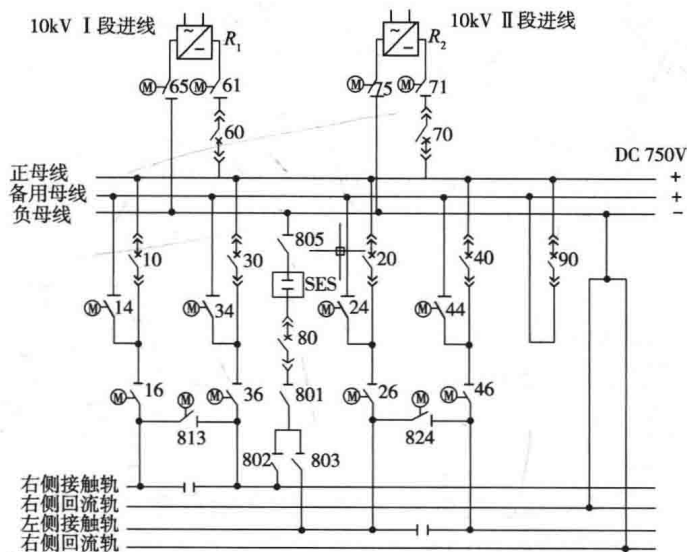


图 1-4 轨道交通变电站直流牵引供电系统典型主接线图

单元二 电路模型

一、理想电路元件

1. 部分电路欧姆定律

只含有负载而不包含电源的一段电路称为部分电路, 如图 1-5 中虚线框中所示电路。

通过试验可以知道, 流过电阻的电流 I 与电阻两端

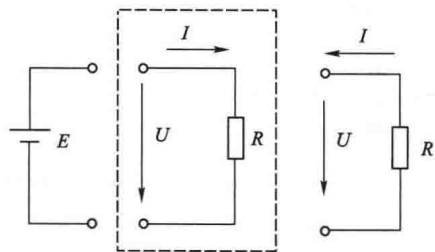


图 1-5 部分电路欧姆定律

的电压 U 成正比,与电阻成反比,这称之为部分电路欧姆定律,用公式(1-6)表示。

$$I = \frac{U}{R} \quad \text{或} \quad U = IR \quad (1-6)$$

从图 1-5 可以看出,电阻两端的电压方向是由高点位指向低点位,并且点位是逐点降低的。

【例 1-2】 某白炽灯接在 220V 电源上,正常工作时流过的电流为 273mA,试求此电灯的电阻。

解:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{220}{273 \times 10^{-3}} = 805.9(\Omega)$$

如果以电流为横坐标,电压为纵坐标,可以画出电阻的电压与电流的关系曲线,称为此电阻的伏安特性曲线。伏安特性曲线是直线的电阻元件,称为线性电阻,如图 1-6 所示,其电阻值是不变的常数;否则,该电阻为非线性电阻,如图 1-7 所示。

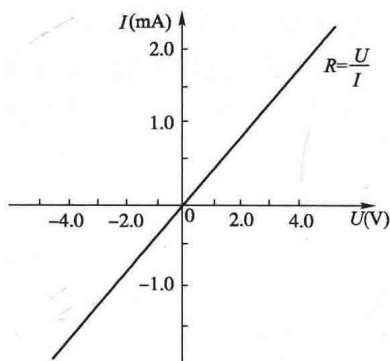


图 1-6 线性电阻的伏安特性曲线

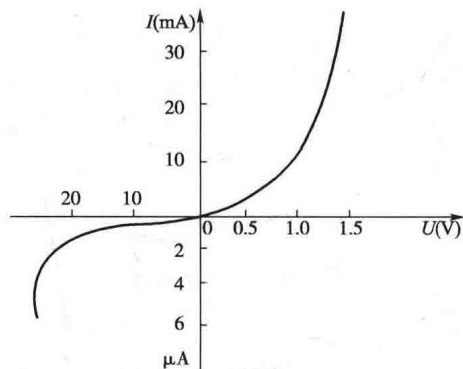


图 1-7 非线性电阻的伏安特性曲线

2. 全电路欧姆定律

全电路是指含有电源的闭合电路,如图 1-8 所示。电源内部的电路称为内电路(虚线框中为内电路)。电源内部一般都是有电阻的,这个电阻称为内电阻,简称内阻,用 r 来表示。电源外部的电路称为外电路,外电路中的电阻称为外电阻。

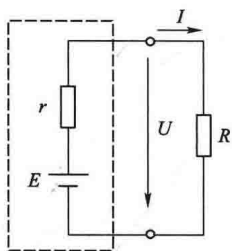


图 1-8 全电路

通过试验可以验证,在一个闭合电路中,电流 I 与电源的电动势 E 成正比,与电路中内电阻和外电阻之和成反比,这个规律称之为全电路欧姆定律,用公式(1-7)表示。

$$I = \frac{E}{r + R} \quad \text{或} \quad U = E - Ir \quad (1-7)$$

【例 1-3】 有一电源电动势 $E = 6V$,内阻 $r = 0.8\Omega$,外接负载电阻 $R = 19.2\Omega$,求电源端电压和内压降。

解:

$$I = \frac{E}{r + R} = \frac{6}{0.8 + 19.2} = 0.3(A)$$

端电压:

$$U = IR = 0.3 \times 19.2 = 5.76(V)$$

内压降:

$$U_r = Ir = 0.3 \times 0.8 = 0.24(V)$$

二、摇表的使用

摇表又称兆欧表,是用来测量被测设备的绝缘电阻和高值电阻的仪表,它由一个手摇发电机、表头和三个接线柱(即 l 为线路端、 e 为接地端、 g 为屏蔽端)组成,如图 1-9 所示。

1. 摇表的选用原则

①额定电压等级的选择。一般情况下,额定电压在 500V 以下的设备,应选用 500V 或 1000V 的摇表;额定电压在 500V 以上的设备,选用 1000 ~ 2500V 的摇表。

②电阻量程范围的选择。摇表的表盘刻度线上有两个小黑点,小黑点之间的区域为准确测量区域。所以在选表时,应使被测设备的绝缘电阻值在准确测量区域内。

2. 摇表的使用

①校表。测量前应将摇表进行一次开路 and 短路试验,检查摇表工作状态是否良好。将两连接线开路,摇动手柄,指针应指在“ ∞ ”处,再把两连接线短接一下,指针应指在“0”处。符合上述条件者即良好,否则不能使用。

②被测设备与线路断开,对于大电容设备还要进行放电。

③选用电压等级符合的摇表。

④测量绝缘电阻时,一般只用“ l ”和“ e ”端,但在测量电缆对地的绝缘电阻或被测设备的漏电流较严重时,就要使用“ g ”端,并将“ g ”端接屏蔽层或外壳。线路接好后,可按顺时针方向转动摇把,摇动的速度应由慢而快,当转速达到 120r/min 左右时(ZC25 型),保持匀速转动,1min 后读数,并且要边摇边读数,不能停下来读数。

⑤拆线放电。读数完毕,一边慢摇,一边拆线,然后将被测设备放电。放电方法是将测量时使用的地线从摇表上取下来,与被测设备短接一下即可(不是摇表放电)。



图 1-9 ZC25 型摇表

小贴士

摇表的使用注意事项

- ①禁止在雷电时或高压设备附近测绝缘电阻,只能在设备不带电也没有感应电的情况下测量。
- ②摇测过程中,被测设备上不能有人工作。
- ③摇表线不能绞在一起,要分开。
- ④摇表未停止转动之前或被测设备未放电之前,严禁用手触及。拆线时也不要触及引线的金属部分。
- ⑤测量结束时,对于大电容设备要放电。
- ⑥要定期校验摇表的准确度。