

责任编辑：亢丽君

封面设计：时代澄宇

城市轨道交通职业技能鉴定培训系列教材

- ※ 城市轨道交通职业道德
- ※ 城市轨道交通概论
- ※ 城市轨道交通电工与电子技术
- ※ 城市轨道交通车站值班员
- ※ 城市轨道交通列车调度员
- ※ 城市轨道交通电客车司机
- ※ 城市轨道交通工程车司机
- ※ 城市轨道交通线路工
- ※ 城市轨道交通钢轨探伤工
- ※ 城市轨道交通桥隧工
- ※ 城市轨道交通信号工
- ※ 城市轨道交通通信工
- ※ 城市轨道交通车站机电设备检修工——低压供电设备检修
- ※ 城市轨道交通车站机电设备检修工——电扶梯、站台门设备检修
- ※ 城市轨道交通车站机电设备检修工——火灾报警设备检修
- ※ 城市轨道交通车站机电设备检修工——综合监控和BAS设备检修
- ※ 城市轨道交通车站机电设备检修工——给排水设备检修
- ※ 城市轨道交通车站机电设备检修工——通风空调设备检修
- ※ 城市轨道交通自动化售检票设备检修工
- ※ 城市轨道交通接触网检修工
- ※ 城市轨道交通变配电检修工
- ※ 城市轨道交通电客车检修工
- ※ 城市轨道交通工程车检修工



中国铁道出版社

CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

地址：北京市西城区右安门西街8号

邮编：100054

网址：<http://www.tdpress.com>

ISBN 978-7-113-20495-2



9 787113 204952 >

定价：38.00元

城市轨道交通职业技能鉴定培训系列教材

城市轨道交通电工与电子技术

徐彩霞 主 编

周正清 副主编

张永慨 主 审

中 国 铁 道 出 版 社

2015 年 · 北京

内 容 简 介

本书是城市轨道交通职业技能鉴定培训系列教材之一,共分四章,包括电工基础知识及应用、模拟电路、数字电路、常用仪器仪表基本知识。全书以“必需”和“够用”为度,对电工与电子技术的基本概念、基本原理和基本分析方法进行详述,并对常用的仪器仪表进行介绍。

本书可作为城市轨道交通岗位电类技术人员基础培训、技能鉴定的培训教材,也可以作为城市轨道交通大专院校、职业学校学生的教学参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

城市轨道交通电工与电子技术 / 徐彩霞主编.

—北京:中国铁道出版社,2015.12

城市轨道交通职业技能鉴定培训系列教材

ISBN 978-7-113-20495-2

I. ①城… II. ①徐… III. ①城市铁路—轨道交通—
电工技术—职业技能—鉴定—教材 ②城市铁路—轨道交通—
电子技术—职业技能—鉴定—教材 IV. ①U239.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 296556 号

书 名:城市轨道交通电工与电子技术

作 者:徐彩霞 主编

策 划:金 锋

责任编辑:亢丽君

编辑部电话:010-63589185-3097

电子信箱:kanglijun@tqbooks.net

封面设计:时代澄宇

责任校对:胡明峰

责任印制:郭向伟

出版发行:中国铁道出版社(100054,北京市西城区右安门西街8号)

印 刷:三河市兴达印务有限公司

版 次:2015年12月第1版 2015年12月第1次印刷

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16 印张:15 字数:384 千

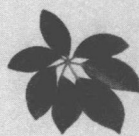
书 号:ISBN 978-7-113-20495-2

定 价:38.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书,如有印制质量问题,请与本社读者服务部联系调换。电话:(010)51873174(发行部)

打击盗版举报电话:市电(010)51873659,路电(021)73659,传真(010)63549480



序

随着我国城市轨道交通行业的蓬勃发展,培养一支技能型、实操型、有一技之长的高级蓝领队伍,打造企业的脊梁型人才,已成为行业内的当务之急。同时,建立一套完善的职业技能鉴定体系,打通企业技能员工晋升通道,引导和激励员工爱岗学技,岗位成才,保持员工队伍的稳定,对企业具有至关重要的意义。

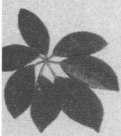
南京地铁集团有限公司和南京铁道职业技术学院依托联合成立的“地铁学院”一体化办学平台,整合双方优质资源,共同开展了城市轨道交通企业职业技能鉴定体系开发工作。在编制完成南京地铁各岗位职业标准、鉴定要素细目表、题库的基础上,以南京地铁运营实践和南京铁道职业技术学院城市轨道交通专业建设为基础,结合国内上海、广州等地铁公司培训教材开发的情况,推出了城市轨道交通职业技能鉴定培训系列教材。

这套教材的推出,是在城市轨道交通行业职业资格证书建设方面进行的一个尝试,旨在为我国城市轨道交通行业的职业教育发展探索一条可持续发展之路。

本系列教材力求在以下方面有所突破:

一是力求教材内容具有较强的针对性。根据岗位职业标准中的基础知识及技能要求,结合鉴定要素细目表,教材内容覆盖了各工种需掌握的完整知识点和技能,将理论知识和实际操作有机结合,力求符合实际工作要求,具有较强的实操性。

二是力求教材系统完整,系统之间有机衔接。教材力避职业标准中不连续、比较原则和简略等弊端,按照连接性和扩展性的知识和技能要求进行必要的细化和展开,使相关的技能和知识连成线、织成片;并注重各专业的有机衔接,补充必需的基础性、辅助性知识和技能,形成一个相对独立、有利于学员、学生学习的培训教材体系。



PREFACE

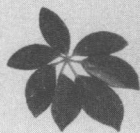
三是力求教材编排融合度高。根据对应职业标准中五个等级的内容及考核比重表的要求,按培训规范中对应培训科目的培训目标、培训内容、培训学时等要求,将五个等级的内容要求融合为一体进行编写。

四是力求教材通用性好。教材对各岗位通用的基础知识、专业基础知识编写形成统一的通用教材,供各岗位使用,确保通用知识内容的准确性,使员工在转岗时能适应多个岗位的学习需要。

五是力求教材适用性广。教材内容以南京地铁运营公司的技术装备和运营实践为主,同时,结合各地铁公司使用的设备和运营管理情况,保证教材除满足南京地铁培训需要外,还可供其他地铁公司作为培训教材参考使用,相互交流。同时,教材可满足高级、中级、初级不同级别员工的培训、学习需要,既可作为普及型教材,亦可作为高技能人才培养教学用书。

由于编写时间仓促,且城市轨道交通行业尚未形成国家统一的标准和体系,教材中一定有许多不妥之处,恳请读者和广大同行批评指正、补充完善。另外,在教材的编写过程中参阅了大量书籍、报刊、学术论文、网站等有关资料,虽已尽可能在参考文献中加以注明,但仍有可能存在遗漏,在此特别说明并致谢!

2014年8月8日



前

言

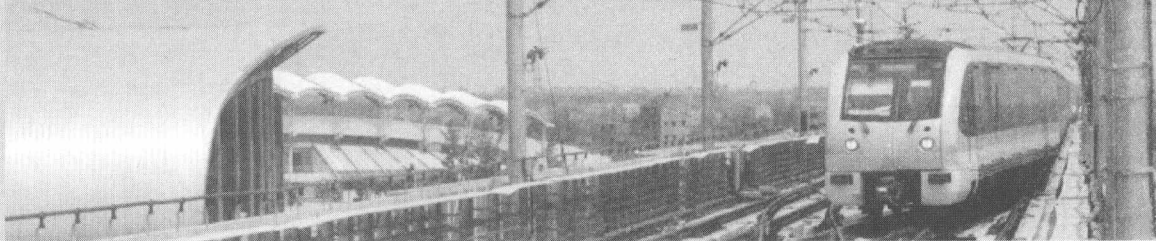
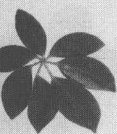
城市轨道交通是一个庞大复杂的技术系统,包括了线路、车站、车辆、供电、通信、信号、自动售检票、屏蔽门等众多专业。涵盖了土建、机械、电气设备、电子信息、环境控制、运输组织等各个门类。为保证城市轨道交通列车安全、正点运行,在集中调度、统一指挥的原则下,要求与运营有关的各部门、各专业、各工种之间按照统一的工作计划——列车运行图,协调一致地进行生产活动。因此对从业人员开展岗位培训及技能训练已成为城市轨道交通行业职业教育与培训的重要任务。

电工与电子技术是从事城市轨道交通电类设备安装、调试及维护人员的必备知识。城市轨道交通电类专业应熟悉电工与电子技术的基础知识,并具有与专业相关电路、板卡的分析能力和解决基本电路及板卡故障的能力。

本书根据城市轨道交通电类相关岗位职业标准、鉴定要素细目表及培训规范进行编写,内容涵盖了初级工、中级工、高级工、技师和高级技师五个等级知识和技能要求。主要内容包括电工基础知识及应用、模拟电路、数字电路、常用仪器仪表基本知识等。本书不仅是城市轨道交通电类相关专业的岗位及技能鉴定的通用培训教材,也可以作为城市轨道交通大专院校、职业学校学生的教学参考用书。

本书主要特色是结合城市轨道交通电类设备维护岗位技能要求对电工电子技术及常用仪器仪表和工具进行了详细介绍,通过学习,可以在较短时间内实现知识与能力的转化;通过培训,使员工能较快适应岗位技能的需要。

本书由南京铁道职业技术学院徐彩霞担任主编,南京地铁运营有限责任公司周正清担任副主编,南京地铁运营有限责任公司张永慨担任主审。具体分工如下:第一、二、四章由南京铁道职业技术学院徐彩霞编写,第三章由南京



FOREWORD

地铁运营有限责任公司周正清编写。南京地铁运营有限责任公司李玉斌、李芳、李宣、樊艳飞、刘其勇、孙成柱及南京铁道职业技术学院王文波、李文超、王若昆、张菊、李彬也参与了研讨与审阅工作。

本书在编写过程中,得到了南京地铁建设有限责任公司和南京地铁运营有限责任公司的大力帮助,也得到了上海申通地铁集团公司、广州地下铁道总公司有关专家的指导,同时也得到了相关工种培训师及教师的大力支持,在此谨表感谢!

由于编写时间仓促,编者水平有限,书中难免有错误和不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

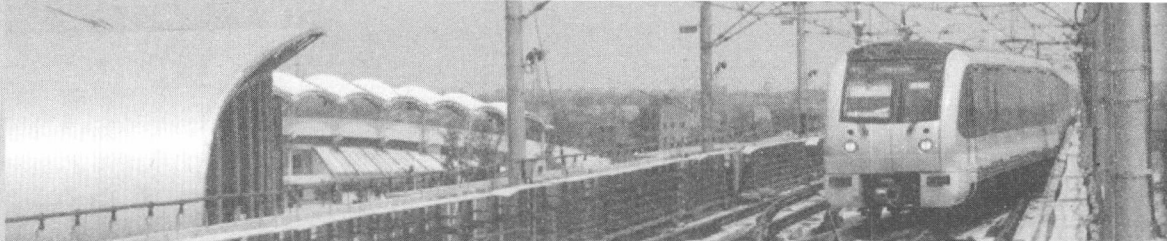
2015.11



目

录

第一章 电工基础知识及应用	1
第一节 电路的基本概念与基本定律	1
第二节 直流电阻电路的基本分析方法	17
第三节 交流电路	23
第四节 谐振电路	39
第五节 正弦交流电路中的功率	43
第六节 电磁与变压器	45
第七节 磁路与铁芯线圈	50
第八节 直流电动机基本工作原理及其应用	59
第九节 三相交流电动机构造与基本工作原理	63
复习题	69
第二章 模拟电路	73
第一节 半导体器件	73
第二节 放大电路分析基础	78
第三节 场效应管放大电路	88
第四节 负反馈放大电路	97
第五节 集成运算放大器	101
第六节 集成运算放大器的应用	102
第七节 波形产生电路与变换电路	108
第八节 低频功率放大电路	111
第九节 直流电源	113
复习题	120
第三章 数字电路	124
第一节 数字逻辑基础	124
第二节 逻辑门电路	133
第三节 组合逻辑电路的分析	140
第四节 时序逻辑电路	144
第五节 半导体存储器和可编程逻辑器件	166
第六节 脉冲波形的产生与变换	174
第七节 集成数模和模数转换器的原理和组成	186
复习题	191



CONTENTS

第四章 常用仪器仪表基本知识	194
第一节 万用表	194
第二节 兆欧表	204
第三节 钳形表	207
第四节 频率计	212
第五节 电桥	213
第六节 电缆故障测试仪	214
第七节 示波器	221
第八节 场强测试仪	223
复习题	227
参考文献	229

第一章 电工基础知识及应用



培训目标

电工技术应用于城市轨道交通所有的电类专业。通过本章学习,使学员对电工基础知识有系统的认识,并能联系各自的岗位,结合相关知识加以研习。要求知道电路的基本状态及分析方法、交流电路的概念、三相交流电路的连接方法及参数测量、谐振电路的应用、变压器的连接及维护、电动机的运行原理及故障处理方法等。

我们通常所讲的电工是指从事电气设备安装、维护的作业人员。作为一门技术,电工技术则是指研究电磁领域的客观规律及其应用的科学技术。这里仅电工技术的基础知识做一简单的介绍。

第一节 电路的基本概念与基本定律

一、电路模型

(一) 电 路

电路主要用来提供能量传输和转换、传递和处理信号、测量电量、存储信息等。虽然其功能多种多样,但也是受共同规律支配,这便是电路理论基础,也是通常所讲的“电工技术”基础。电路是由若干电气设备或元器件按一定方式用导线连接而成的电流通路。通常由电源、负载及中间环节等三部分组成。其中,电源是将其他形式的能量转换为电能的装置,如发电机、干电池、蓄电池等。负载通常也称为电器,是将电能转化为其他能量的装置,如电动机等。中间环节则是传输、控制电能的装置,如连接导线、开关、保护设备、变压器等。

实际电路按其功能可分为电力电路和电子电路。电力电路主要是实现电能的传输和转换。电子电路主要是实现信号的传递和处理。

(二) 电路模型

1. 电路模型

电路模型是由电路元件构成的电路。电路元件一般用理想电路元件代替,并用国标规定的图形符号及文字符号表示。通常所研究的电路均为电路模型。如日常使用的白炽灯电路,其电路模型如图 1-1 所示。

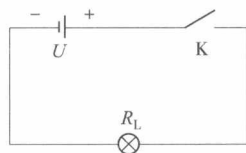


图 1-1 白炽灯电路模型

2. 电路元件

对某一个元器件而言,其电磁性能并不是单一的。例如,滑动电阻器,它由导线绕制而成,主要有消耗电能的性质,即具有电阻的性质;其次由于电压和电流会产生电场和磁场,它又有储存电场能量和磁场能量的性质,即具有电容和电感的性质。上述性质总是交织在一起的,当电压、电流的性质不同时,其表现程度也不一样。

为了便于对电路进行分析和计算,将实际元器件近似化、理想化,使每一种元器件只集中表现一种主要的电或磁的性能,这种理想化元器件就是实际元器件的模型。理想化元器件简称电路元件。实际元器件可用一种或几种电路元件的组合来近似地表示。

(三) 电路的基本物理量

无论电路是输送或转换能量,还是传输或处理信号,都要通过电压、电流和电功率来实现。

1. 电流

(1) 电流的大小。电流是由电荷的定向运动形成的,通常把正电荷运动的方向作为电流的实际方向。电流的大小用电流强度(简称电流)来表示。电流强度在数值上等于单位时间内通过导线某一截面的电荷量,用符号 i 表示。则

$$i = \frac{dQ}{dt} \quad (1-1)$$

式中 dt ——时间;

dQ —— dt 内通过导线某一截面的电荷量。

大小和方向都不随时间变化的电流称为恒定电流,也称直流电流,用大写字母 I 表示,则

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

式中 t ——时间;

Q —— t 内通过导线某一截面的电荷量。

电流的单位为安(A);电荷量的单位为库仑(C);时间的单位为秒(s)。当电流很小时,常用单位为毫安(mA)或微安(μA);当电流很大时,常用单位为千安(kA)。

(2) 电流的实际方向与参考方向。电流不但有大小,而且还有方向。在简单电路中,如图 1-2 所示,可以直接判断电流的方向。即在电源内部电流由负极流向正极,而在电源外部电流则由正极流向负极,以形成一闭合回路。但在较为复杂的电路中,如图 1-3 所示的桥式电路中,电阻 R_5 的电流实际方向有时难以判定。

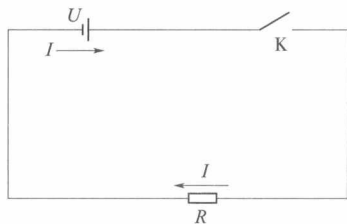


图 1-2 可以直接判读电流方向的示意电路图

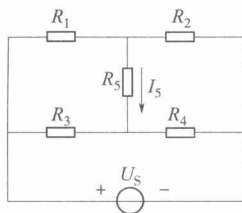


图 1-3 难以判断方向的电流参考方向标注

在电路分析中,任意选定一个方向作为电流的方向,这个方向就称为电流的参考方向(如图 1-3 中用实线表示的 I_s),当然,所选定的电流参考方向并不一定就是电流的实际方向。当电流的参考方向与实际方向相同时,电流为正值。当电流的参考方向与实际方向相反时,则电流为负值。这样,电流的值就有正有负,它是一个代数量,其正负反映的是电流的实际方向与参考方向的关系。因此电流的正与负只有在选定了参考方向以后才有意义。

电流的参考方向一般用实线箭头表示,既可以画在线上,如图 1-4(a)所示;也可以画在线外,如图 1-4(b)所示;还可以用双下标表示,如图 1-4(c)所示,其中, I_{ab} 表示电流的参考方向是由 a 点指向 b 点。

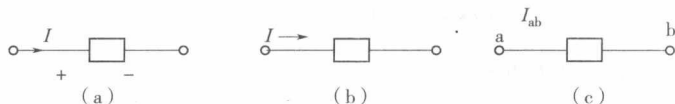


图 1-4 电流参考方向的标注法

2. 电压

(1)电压的大小。电压,也称作电势差或电位差,是衡量单位电荷在静电场中由于电势不同所产生的能量差的物理量。其大小等于单位正电荷因受电场力作用从 a 点移动到 b 点所作的功,用 u_{ab} 表示,则

$$u_{ab} = \frac{dW_{ab}}{dQ} \quad (1-3)$$

式 1-3 中, dW_{ab} 为电场力把正电荷 dQ 从电路中 a 点移到电路中 b 点时所做的功。电压的方向规定为从高电位指向低电位的方向。电压的国际单位制为伏特(V),常用的单位还有毫伏(mV)、微伏(μV)、千伏(kV)等。

大小和方向都不随时间变化的电压称为恒定电压,简称直流电压,用大写字母 U 表示,如 a、b 两点间的直流电压为

$$U_{ab} = \frac{W_{ab}}{Q} \quad (1-4)$$

式 1-4 中, W_{ab} 为电场力把正电荷 Q 从电路中 a 点移到电路中 b 点时所做的功。

(2)电压的实际方向与参考方向。与电流类似,在分析和计算电路时,也要预先设定电压的参考方向。同样,所设定的参考方向并不一定就是电压的实际方向。当电压的参考方向与实际方向相同时,电压为正值,当电压的参考方向与实际方向相反时,电压为负值。这样,电压的值有正有负,它也是一个代数量,其正负表示电压的实际方向与参考方向的关系。

电压的参考方向既可以用实线箭头表示,如图 1-5(a)所示;也可以用正(+)、负(-)极性表示,如图 1-5(b)所示,正极性指向负极性的方向就是电压的参考方向;还可以用双下标表示,如图 1-5(c)所示,其中, U_{ab} 表示 a、b 两点间的电压参考方向由 a 指向 b。

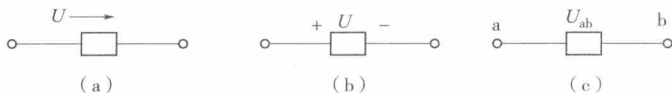


图 1-5 电压参考方向的标注法

进行电路分析时,对于一个元件,我们既要对流过元件的电流选取参考方向,又要对元件两端的电压选取参考方向,两者是相互独立的,可以任意选取。即它们的参考方向可以一致,也可以不一致。如果电流的参考方向与电压的参考方向一致,则称之为关联参考方向,如图 1-6(a)所示;如果电流的参考方向与电压的参考方向不一致,则称之为非关联参考方向,如图 1-6(b)所示。

当选取电压、电流方向为关联参考方向时,电路图上只需标出电流的参考方向或电压的参考方向,如图 1-7 所示的是两种等效的表示方法。

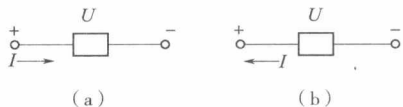


图 1-6 电压、电流参考方向

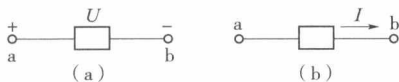


图 1-7 关联参考方向的简单标注

3. 电功率与电能

根据式(1-4)对电压的定义,电场力所做的功 $W_{ab} = QU_{ab}$,单位时间内电场力所做的功称为电功率,简称为功率。它是描述传送电能速率的一个物理量,以符号 P 表示,即

$$P = \pm \frac{QU}{t} = \pm UI \quad (1-5)$$

在式(1-5)中,若电流的单位为安培(A),电压的单位为伏特(V),则功率的单位为瓦特(W),简称为“瓦”。

在电路中当电流的参考方向是从元件的正极流向负极时称电压和电流参考方向关联。用式(1-5)计算电路吸收的功率时,若电压、电流的参考方向关联,则等式的右边取正号;否则取负号。当 $P > 0$,表明元件吸收功率;当 $P < 0$,表明释放功率。当已知设备的功率为 P 时,则在 t 秒内消耗的电能为

$$W = Pt \quad (1-6)$$

电能就等于电场力所做的功,单位是焦耳(J)。工程上,直接用千瓦小时($\text{kW} \cdot \text{h}$)作单位,俗称“度”。 $1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 3\,600\,000 \text{ J}$ 。

二、电路中的元件及其特性

如图 1-8 所示电路中含有电阻元件、电容元件、电感元件和电源元件,这些元件都属于二端元件,它们都只有两个端钮与其他元件相连接。

上述二端元件两端钮间的电压与通过它的电流之间都有确定的约束关系,这种关系叫做元件的伏安特性。该特性由元件性质决定,元件不同,其伏安特性不同。

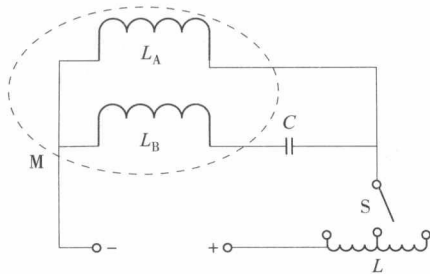


图 1-8 典型电气原理图

(一)电阻元件及欧姆定律

1. 电阻元件的图形、文字符号

电阻器是具有一定电阻值的元器件,在电路中用于控制电流、电压等。电阻器通

常就叫电阻,在电路图中用字母“R”或“r”表示,电路图中常用电阻器的符号如图 1-9 所示。



图 1-9 电阻的图形符号

电阻器的 SI(国际单位制)单位是欧姆,简称欧,通常用符号“ Ω ”表示。常用的单位还有“ $k\Omega$ ”、“ $M\Omega$ ”。

电阻元件是从实际电阻器抽象出来的理想化模型,是代表电路中消耗电能这一物理现象的理想二端元件。如电烙铁等这类实际电阻器,当忽略其电感等作用时,可将它们抽象为仅具有消耗电能的电阻元件。

电阻元件电阻值的倒数称为电导,用字母 G 表示,即

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

电导的 SI(国际单位制)单位为西门子,简称西,通常用符号“S”表示。它反映的是电阻元件的导电能力。

2. 电阻元件的特性

电阻元件的伏安特性可以用电流为横坐标,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。如果伏安特性曲线是一条过原点的直线,如图 1-10(a)所示,这样的电阻元件称为线性电阻元件,线性电阻元件在电路图中用图 1-10(b)所示的图形符号表示。在工程上,还有许多电阻元件,其伏安特性曲线是一条过原点的曲线,这样的电阻元件称为非线性电阻元件。严格地说,实际电路器件的电阻都是非线性的。如常用的白炽灯,只有在一定的工作范围内,才能把白炽灯近似看成线性电阻,而超过此范围,就成了非线性电阻。

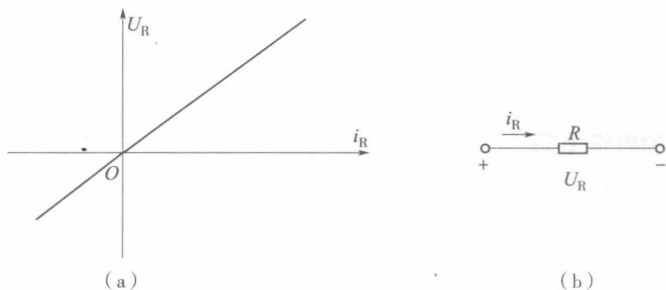


图 1-10 线性电阻元件伏安特性及图形符号

3. 欧姆定律

欧姆定律指出:在电阻电路中,当电压与电流为关联参考方向,电流的大小与电阻两端的电压成正比,与电阻值成反比。即欧姆定律可用下式表示

$$I = \frac{U}{R} \quad (1-8)$$

欧姆定律是电路分析中的重要定律之一,它说明流过线性电阻的电流与该电阻两端电压之间的关系,反映了电阻元件的特性。其关系如下:



(1) 如果电阻保持不变,当电压增加时,电流与电压成正比例地增加;当电压减小时,电流与电压成正比例地减小。

(2) 如果电压保持不变,当电阻增加时,电流与电阻成反比例地减小;当电阻减小时,电流与电阻成反比例地增加。

无论电压、电流为关联参考方向还是非关联参考方向,电阻元件功率为

$$P=UI=I^2R=\frac{U^2}{R} \quad (1-9)$$

式(1-9)表明,电阻元件吸收的功率恒为正值,而与电压、电流的参考方向无关。因此,电阻元件又称为耗能元件。

(二) 电容元件

1. 电容元件的图形、文字符号

实际电容器是由两片金属极板中间充满电介质(如空气、云母、绝缘纸、塑料薄膜、陶瓷等)构成的。在电路中多用来滤波、隔直、交流耦合、交流旁路及与电感元件组成振荡回路等。电容器又名储电器,在电路图中用字母“C”表示,电路图中常用电容器的符号如图 1-11 所示。



图 1-11 电容器的图形符号

电容器的 SI 单位是法拉,简称法,通常用符号“F”表示。常用的单位还有微法“ μF ”和皮法“pF”,它们的换算关系如下

$$1\text{ F}=10^6\ \mu\text{F}=10^{12}\text{ pF} \quad (1-10)$$

电容元件是从实际电容器抽象出来的理想化模型,是代表电路中储存电能这一物理现象的理想二端元件。当忽略实际电容器的漏电阻和引线电感时,可将它们抽象为仅具有储存电场能量的电容元件。

2. 电容元件的特性

当电容元件两端的电压发生变化时,极板上聚集的电荷也相应的发生变化,这时电容元件所在的电路中就存在电荷的定向移动,形成了电流。当电容元件两端的电压不变时,极板上的电荷也不变化,电路中便没有电流。

当电压、电流为关联参考方向时,线性电容元件的特性方程为

$$i=C\frac{\text{d}u}{\text{d}t} \quad (1-11)$$

式(1-11)表明电容元件中的电流与其端钮间电压对时间的变化率成正比。比例常数 C 称为电容,是表征电容元件特性的参数。习惯上常把电容元件简称为电容,所以“电容”这个名词,既表示电路元件,又表示元件的参数。



图 1-12 电容器的图形符号

线性电容元件在电路图中的符号如图 1-12 所示。

若电容器上的电压、电流为非关联参考方向,则电容元件的特性方程为

$$i=-C\frac{\text{d}u}{\text{d}t} \quad (1-12)$$

从式(1-11)和式(1-12)可以看出,电容器上流过的电流大小与加在电容器两端的电压的变化率成正比。电压变化越快,电流越大。当电压不变(直流电压)时,电流为零。所以电容元件有“隔直通交”的作用。电容元件两端的电压不能跃变,这是电容元件的一个重要性质。

电容元件在某时刻储存的电场能量只与该时刻电容元件的端电压有关。电容器有充电和放电两个过程,当电容器充电时,电容元件从电源吸收能量,储存在电场中的能量增加,两端电压增加。当电容器放电时,电容元件向外释放能量,储存在电场中的能量减小,两端电压降低。电容在充放电过程中并不消耗能量。因此,电容元件是一种储能元件。

在选用电容器时,除了选择合适的电容量外,还需注意实际工作电压与电容器的额定电压是否相等。如果实际工作电压过高,介质就会被击穿,电容器就会损坏。

(三)电感元件

1. 电感元件的图形、文字符号

实际电感线圈就是用漆包线或纱包线或裸导线一圈接一圈地绕在绝缘管上或铁芯上而又彼此绝缘的一种元件。在电路中多用来对交流信号进行隔离、滤波或组成谐振电路等。电感线圈简称线圈,在电路图中用字母“L”表示,电路图中常用线圈的符号如图 1-13 所示。



图 1-13 电感线圈的图形符号

电感线圈是利用电磁感应作用的器件。在一个线圈中,通过一定数量的变化电流,线圈产生感应电动势大小的能力就称为线圈的电感量,简称电感。电感常用字母“L”表示。

电感的 SI(国际单位制)单位是亨利,简称亨,通常用符号“H”表示。常用单位还有“mH”和“ μH ”,其换算关系如下

$$1 \text{ H} = 10^3 \text{ mH} = 10^6 \mu\text{H} \quad (1-13)$$

电感元件是从实际线圈抽象出来的理想化模型,是代表电路中储存磁场能量这一物理现象的理想二端元件。当忽略实际线圈的导线电阻和线圈匝与匝之间的分布电容时,可将其抽象为仅具有储存磁场能量的电感元件。

2. 电感元件的特性

任何导体当有电流通过时,在导体周围就会产生磁场;如果电流发生变化,磁场也随着变化,而磁场的变化又引起感应电动势的产生。这种感应电动势是由于导体本身的电流变化引起的,称为自感。

自感电动势的方向可由楞次定律确定。即当线圈中的电流增大时,自感电动势的方向和线圈中的电流方向相反,以阻止电流的增大;当线圈中的电流减小时,自感电动势的方向和线圈中的电流方向相同,以阻止电流的减小。总之当线圈中的电流发生变化时,自感电动势总是阻止电流的变化。

自感电动势的大小,一方面取决于导体中电流变化的快慢,另一方面还与线圈的



形状、尺寸、线圈匝数以及线圈中介质情况有关。

当电压、电流为关联参考方向时,线性电感元件的特性方程为

$$u = L \frac{di}{dt} \quad (1-14)$$

式(1-14)表明电感元件两端电压与通过它的电流的变化率成正比。电流变化越快,在其两端产生的电压就越大。当通过电感的电流不发生变化(直流电)时,将不会产生感应电压,即电感元件具有“通直隔交”的作用。 L 称为电感,是表征电感元件特性的参数。习惯上常把电感元件简称为电感,所以“电感”这个名词,既表示电路元件,又表示元件的参数。

线性电感元件在电路图中用符号如图 1-14 所示。

若电压、电流为非关联参考方向,则电感元件的特性方程为

$$u = -L \frac{di}{dt} \quad (1-15)$$



图 1-14 电感的图形符号

从式(1-14)和式(1-15)可以看到,电感元件中的电流不能跃变,这是电感元件的一个重要性质。如果电流跃变,则要产生无穷大的电压,对实际电感线圈来说,这当然是不可能的。

若电压、电流为关联参考方向,则线性电感元件吸收的功率为

$$p = ui = Li \frac{di}{dt} \quad (1-16)$$

在 t 时刻,电感元件储存的磁场能量为

$$W_L(t) = \frac{1}{2} Li^2(t) \quad (1-17)$$

式(1-17)表明,电感元件在某时刻储存的磁场能量只与该时刻电感元件的电流有关。当电流增加时,电感元件从电源吸收能量,储存在磁场中的能量增加;当电流减小时,电感元件向外释放磁场能量。电感元件并不消耗能量,因此,电感元件也是一种储能元件。

在选用电感线圈时,除了选择合适的电感量外,还需注意实际的工作电流不能超过其额定电流。否则,由于电流过大,线圈发热而被烧毁。

三、电路的基本状态

实际电路在使用过程中,可能处于有载、开路或短路三种不同的基本状态。

(一)有载状态

电路的有载状态是电路的一般工作状态,如图 1-15(a)所示。其中 R_0 为电源的内阻,此时电路有下列特征:

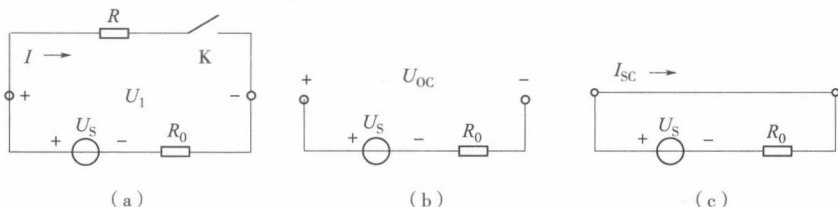


图 1-15 电路的三种状态