

汽车

电工电子技术基础

QICHE

DIANGONG DIANZI JISHU JICHU

主编◎吕 娜 张秀红 徐 磊



汽车电工电子技术基础

主 编 吕 娜 张秀红 徐 磊

副主编 王红艳 林 琦 李明月 李 平



 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

图书在版编目 (CIP) 数据

汽车电工电子技术基础/吕娜, 张秀红, 徐磊主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2014. 8

ISBN 978 - 7 - 5640 - 9628 - 1

I. ①汽… II. ①吕…②张…③徐… III. ①汽车-电工-高等学校-教材-②汽车-电子技术-高等学校-教材 IV. ①U463.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 197698 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)
82562903 (教材售后服务热线)
68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京泽宇印刷有限公司

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 11.5

字 数 / 260 千字

版 次 / 2014 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

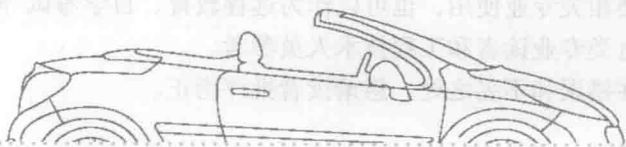
定 价 / 39.00 元

责任编辑 / 陈莉华

文案编辑 / 陈莉华

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 马振武



前言

P R E F A C E

随着汽车产业的飞速发展,汽车已经进入千家万户,汽车技术性能正在朝着更加安全、环保和节能的方向发展,电工电子技术在汽车上的应用越来越广泛,电工电子设备在车辆中所占的比重也越来越大,这就要求现代汽车的使用、维护与检测人员应当向着机电复合型人才的方向发展。因此,“汽车电工电子技术基础”是高等院校汽车类专业的一门特别重要的必修技术基础课程。

在传统教学模式中,强调学科的系统化,教学内容多而难,严重脱离实际,不适应学生的学习与发展。在新的形势下,强调以就业为导向,以能力为本位,以岗位需要和职业标准为依据,本教材从先进的教育理念出发,一方面对传统的学科型教材进行整合,另一方面,鉴于作者长期从事“汽车电工电子技术基础”和“汽车电器设备与维修”等课程的教学经验,从专业课的角度出发,对本教材框架重新进行构建。全书共分八个学习项目,主要内容包括:直流电路、正弦交流电路、磁路及变压器、直流电动机及其在汽车中的应用、三相异步交流电动机及其在汽车中的应用、二极管及其在汽车中的应用、三极管及其在汽车中的应用、数字电路及其在汽车中的应用。本教材以电工、电子基础知识与汽车专业知识相结合作为出发点,力求有较宽的覆盖面来容纳较大的信息量,理论深度适中,强化实用技能。

本教材所用的标准均为最新的国家标准,主要编写特色如下:

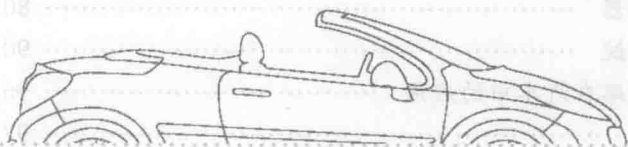
(1) 以任务驱动、项目引领型课程为主体结构,以专业课所需要的内容为依据,注重基础,强调实用,合理选择教材内容,删去了某些基本知识繁杂的理论推导、计算以及与专业课不相关的内容,尽量避免内容之间不必要的交叉和重叠,适当列举一些汽车的电气设备电路实例进行讲解,使学生能将电工电子基础知识和汽车专业知识迅速结合起来,既提高了学生学习的兴趣,也培养了学生分析问题和解决问题的能力。

(2) 每个项目着重展示一个基本的知识(电工或电子)内容,将理论的知识融入项目的相关知识中,让学生在操作活动的学习过程中主动地去学习理解,教师在教学过程中可灵活地把握知识点的增删,以适合学生学习,让学生能主动学习,培养学生良好的学习习惯。

(3) 通过大量的图形、表格来展示知识要点,体现了知识结构、技能要求、教学内容弹性化。

(4) 每个学习项目后均有“本章小结”和“本章习题”,可以方便学生总结和复习所学知识,培养学生分析问题和解决问题的能力,达到巩固所学知识的目的。

(5) 本教材将电工电子技术与汽车技术紧密结合,图文并茂,深入浅出,语言通俗易懂



目 录

CONTENTS

绪 论 汽车电路的基本知识	1
项目一 直流电路	5
任务 1.1 电路的组成及基本概念	5
任务 1.2 电路的基本定律	15
任务 1.3 电路的分析与计算	18
任务 1.4 惠斯通电桥在汽车传感器中的应用	19
本章小结	21
本章习题	22
项目二 正弦交流电路	24
任务 2.1 正弦交流电及其相量表示	24
任务 2.2 单一元件正弦交流电路	27
任务 2.3 RLC 串联电路	31
任务 2.4 三相交流电路	33
任务 2.5 安全用电常识	38
本章小结	41
本章习题	42
项目三 磁路及变压器	47
任务 3.1 磁路的基本概念	47
任务 3.2 变压器	52
任务 3.3 点火线圈	55
本章小结	57
本章习题	57
项目四 直流电动机及其在汽车中的应用	59
任务 4.1 直流电动机	59
任务 4.2 车用起动机	65
本章小结	67
本章习题	67

项目五 三相异步交流电动机及其在汽车中的应用	69
任务 5.1 三相异步电动机构造及其原理	69
任务 5.2 三相异步电动机的控制方法	77
任务 5.3 常用低压电器	80
任务 5.4 电气控制系统	90
任务 5.5 电动控制电路在汽车中的应用	96
本章小结	97
本章习题	98
项目六 二极管及其在汽车中的应用	99
任务 6.1 PN 结	99
任务 6.2 晶体二极管	101
任务 6.3 汽车交流发电机整流器电路	105
任务 6.4 滤波、稳压电路	108
本章小结	110
本章习题	111
项目七 三极管及其在汽车中的应用	113
任务 7.1 熟悉放大电路	113
任务 7.2 多级放大器	124
任务 7.3 集成运算放大电路	126
任务 7.4 放大电路中的负反馈	131
任务 7.5 放大电路在汽车中的应用	135
本章小结	136
本章习题	137
项目八 数字电路及其在汽车中的应用	143
任务 8.1 概述	143
任务 8.2 基本逻辑关系与门电路	144
任务 8.3 逻辑代数	150
任务 8.4 集成门电路	151
任务 8.5 触发器	154
任务 8.6 数字电路在汽车中的应用	160
本章小结	164
本章习题	165
附录 汽车电路常用图形符号	167
参考文献	173

绪 论

汽车电路的基本知识

一、汽车电路的特点

现代汽车电器与电子设备虽然种类繁多,功能各异,但其线路都应遵循一定的原则,了解这些原则对汽车电路进行分析是很有帮助的。

汽车电路的特点可归纳如下:

1. 低压

汽车电系的额定电压有 6 V、12 V、24 V 三种。汽油机普遍采用 12 V 电源,柴油车多采用 24 V 电源(由两个 12 V 蓄电池串联而成)。汽车运行中的电压,一般情况下,12 V 系统的为 14 V,24 V 系统的为 28 V。

2. 直流

现代汽车发动机是靠电力起动机起动的,起动机由蓄电池供电,而向蓄电池充电又必须用直流电源,所以汽车电系为直流系统。

3. 单线制

单线连接是汽车线路的特殊性,它是指汽车上所有电气设备的正极均采用导线相互连接,而所有的负极则直接或间接通过导线与车架或车身金属部分相连,即搭铁。任何一个电路中的电流都是从电源的正极出发经导线流入用电设备后,再由电气设备自身或负极导线搭铁,通过车架或车身流回电源负极而形成回路的。

由于单线制导线用量少,线路清晰,接线方便,因此广为现代汽车所采用。

4. 并联连接

各用电设备均采用并联,汽车上的两个电源(蓄电池与发动机)之间以及所有用电设备之间都是正极接正极,负极接负极,并联连接。

由于采用并联连接,所以汽车在使用中,当某一支路用电设备损坏时,并不影响其他支路用电设备的正常工作。

5. 负极搭铁

采用单线制时蓄电池的一个电极须接至车架或车身上,俗称“搭铁”。蓄电池的负极接车架或车身称为负极搭铁,蓄电池的正极接车架或车身称为正极搭铁。负极搭铁对车架或车身金属的化学腐蚀较轻,对无线电干扰小。我国标准规定汽车线路统一采用负极搭铁。

6. 设有保险装置

为了防止因短路或搭铁而烧坏线束,电路中一般设有保护装置,如熔断器、易熔线等。

7. 汽车线路有颜色和编号特征

为了便于区别各线路的连接,所有低压导线必须选用不同颜色的单色或双色线,并在每根导线上编号,编号由生产厂家统一编定。

8. 由相对独立的分系统组成

汽车电路由相对独立的系统组成,全车电路一般包括以下几部分:

(1) 电源电路

电源电路由蓄电池、发电机、调节器及工作情况指示装置(电流表、充电指示灯)等组成。

(2) 起动电路

起动电路由起动机、起动继电器、起动开关及起动保护装置组成。

(3) 点火电路

点火电路由点火线圈、分电器、点火控制器、火花塞、点火开关等组成。此外,采用由发动机控制单元进行点火控制时,可以不使用分电器。

(4) 照明与信号电路

照明与信号电路由前照灯、雾灯、示廓灯、转向灯、制动灯、倒车灯、电喇叭、控制继电器和开关等组成。

(5) 仪表与警报电路

仪表与警报电路由仪表、传感器、各种警报指示灯及控制器组成。

(6) 电子控制装置电路

电子控制装置电路由电控燃油喷射系统、自动变速器、制动防抱死系统、恒速控制及悬架平衡控制等组成。

(7) 辅助装置电路

辅助装置电路由风窗清洁装置、起动预热装置等组成。

二、汽车电器系统的工作条件

汽车电器系统的工作条件可概括为大范围的温度和湿度变化,波动的电压及较强的脉冲干扰,电器间的相互干扰,剧烈的振动以及尘土的侵蚀等。

1. 温度与湿度

温度的变化包括两方面:一是外界环境温度;二是使用温度,它与电器设备工作时间的长短、布置位置以及电器元件自身的发热、散热条件密切相关。对于电子元件来讲,较高的使用温度是造成过热损坏的主要原因。

在湿度较大的环境下,会增加水分子对电子元件的浸润作用,使其绝缘性能下降,影响电器设备的工作性能。

2. 电压的波动

汽车电气系统的电压波动可分为两种:一种是正常范围内的波动,即从蓄电池的端电压到电压调节器起作用的电压之间;另一种为过电压,过电压将对汽车上的电子设备带来极大危害。过电压从其性质来分,可分为非瞬变性过电压和瞬变性过电压。

非瞬变性过电压主要是由于发电机调节器失灵,或其他原因引起发电机激磁电流未经调

节器,使发电机电压升高到不正常值。这种故障如不及时排除,会使整个充电系统的电压一直处于不正常的高压,过电压有时可高达 100 多伏,它会使蓄电池的电解液沸腾,电器设备烧毁。

瞬变性过电压对汽车电子元件危害最大,其产生主要有以下几种情况:

当停车关闭点火开关时,由于发电机的磁场绕组与蓄电池之间通路瞬间切断,从而在磁场绕组中感应出按指数规律变化的负电压,其反向峰值可达 $-50 \sim -100 \text{ V}$ 。该脉冲由于没有蓄电池吸收,极易引起电子元件的损坏。

汽车运行中,发电机与蓄电池之间的导线意外松脱,或者在没有蓄电池的情况下,突然断开其他负载。发电机端电压瞬间可升高很多,极限情况可达 100 V 以上,且可维持 0.1 s 左右的时间。对一些过电压敏感的电子元件,这样的过电压足以造成损坏或误动作。

电感性负载,如喇叭、各种电机、电磁离合器等,在切换时,将在电路中产生高频振荡,振荡的峰值电压可达 200 多伏,但其持续时间较短(300 μs 左右),一般不能引起电子元件损坏,但对于具有高频响应的控制系统,如电控汽油喷射系统,往往会引起误动作。

3. 电器间的相互干扰

由于各个电器设备工作方式不同,它们之间会以不同的方式侵扰。通常将汽车上所有电器能在车上正常工作而不干扰其他电器正常工作的能力称为汽车电器的相容性。在实际中,电器间的相互干扰是不可避免的,因此,对汽车电器系统来说,重要的是相容性。任何因素激发的振荡都会通过导线等以电磁波的方式发射出去,势必对其他电子系统产生电磁干扰。因此,车上应用的计算机等都应具有良好的屏蔽措施,一旦屏蔽被破坏,也会导致其工作异常。

4. 其他

汽车行驶中不可避免地产生振动和冲击,它将造成电子设备的机械性损坏,如脱险、脱焊、触点抖动、搭铁不良等故障。尘土及有害气体的侵蚀会导致接触不良及绝缘性能下降等故障。

三、常用定义、定律和定则

1. 安培定则

安培定则又叫右手螺旋定则,是描述在通电导体周围产生的磁力线的环绕方向与电流方向关系的定则。用右手握住导线,让伸直的大拇指的方向与电流方向一致,则弯曲的四指所指的方向就是磁力线的环绕方向。

通电螺线管产生的磁场很像一根条形磁铁的磁场。

2. 安培力

磁场对通电导体的作用叫安培力,它与通电电流和磁感应强度成正比。

3. 左手定则

左手定则是描述安培力与磁场方向及通电电流方向之间关系的定则。伸开左手,使大拇指跟四指垂直,并且都跟手掌在同一平面内,让磁力线垂直穿过手心,使四指指向电流方向,则大拇指的指向就是磁场对通电导体作用力的方向。

4. 电磁感应现象

电磁感应现象由英国物理学家法拉第发现。变化的磁场能使闭合导线中产生电流,这样产生的电流叫作感生电流,产生的电动势叫作感生电动势。

5. 楞次定律

楞次定律是描述感生电流产生方向的规律的,即感生电流的磁场总是要阻碍引起感生电流的磁通量的变化。

6. 法拉第电磁感应定律

电路中感生电动势的大小,与穿过这一电路的磁通量的变化率成正比。

7. 自感现象

由于导体本身电流的变化而产生的电磁感应现象叫作自感现象。比如两只灯,在开关闭合时不会同步亮;在开关断开时,两只灯还能亮一段时间。

8. 互感现象

在同一导磁材料中,一个导体电流发生变化而引起其他导体发生电磁感应的现象叫作互感现象。如缠在同一铁芯上的两个线圈,一个线圈电流发生变化会引起另一个线圈中产生感生电动势。

项目一

直流电路



1. 了解电路的组成及基本元件
2. 掌握电流、电压、电位等基本概念
3. 掌握电路基本定律及电路的分析与计算
4. 掌握惠斯通电桥在汽车上的应用

电流按其性质的不同可分为直流电和交流电。汽车电路中,蓄电池提供的是直流电,而经发电机产生的电流整流后得到的也是直流电。本章主要介绍电路的基本知识和直流电路的基本规律。

任务 1.1 电路的组成及基本概念

电路是由一些电气设备、电子元器件按一定方式连接起来,构成的电流通路。电路广泛应用于日常生活、生产和科学研究工作中。可以说,用电的设备内部都含有电路,小到手电筒,大到计算机、通信系统和电力网络,都可以看到或简单或复杂的电路。了解电路的组成,掌握电路的有关知识是对电路进行分析、设计、计算的基础。

活动 1.1.1 电路的组成及电路图

1. 电路的基本组成

电路是电流流通的路径,一个完整的电路一般应包括电源、负载、开关和连接导线 4 部分。

图 1-1 所示为汽车的制动灯电路,电路由蓄电池、制动灯、连接导线和制动开关构成,是一个最基本的电路。汽车制动时,合上制动开关,蓄电池向外输出电流,电流流过制动灯,制动灯就会亮。

(1) 电源

电源是电路中提供电能的装置。电源可以把其他形式的能量转换成电能,为整个电路提供能量。常用的电源有干电池、蓄电池、太阳能电池、发电机等。

图 1-1 所示的电路中,蓄电池就是电源。

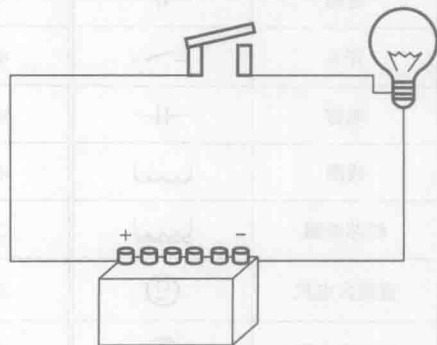


图 1-1 电路示意图

(2) 负载

负载是电路中取用电能的装置,即电路中利用电能来工作的元器件,也称为用电器,是各种用电设备的总称。负载,如电灯、电炉、电动机等可以把电能转换为其他形式的能量。图 1-1 所示的电路中,制动灯就是负载。

(3) 导线

导线用来连接电路中的各元器件,起到传输电流的作用。

(4) 开关

开关是电路中控制电路接通与断开的器件。导线和开关将电源和负载连接起来,也称为电路的中间环节。中间环节的作用是传送和分配电能,控制电路的通断,保护电路安全,使其正常运行。

2. 电路的功能

电路按功能可分为两类,一类是实现能量的传输、分配与转换的电路,如白炽灯将电能转换为光能,电炉将电能转换为热能;另一类是实现信号的传输和处理的电路,如扩音器电路可将声音信号进行放大处理,汽车发电机内部电路可将其产生的交流电变换为直流电供给汽车电器使用,汽车电控发动机中的电子点火系统电路可将低压脉冲信号进行放大,控制点火线圈产生高压电,实现点火。

3. 电路图

图 1-1 采用的是用画实物外形的方法来表示电路,称为电路示意图。为使绘制电路方便快捷,规定用一些简单的图形符号来表示电路中的各种元器件,这样画出的电路图形称为电路原理图,也称为电路图。图 1-2 为图 1-1 所示电路的电路图,用电路图表示实际电路简单明了,绘制方便。在生产生活中,一般都根据电路图对电路进行分析和计算。因此,必须熟悉电路元件的图形符号及电路图的画法。表 1-1 列出了

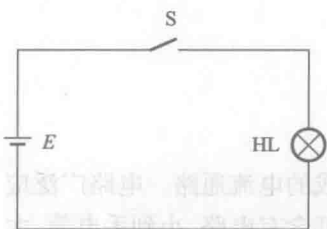


图 1-2 电路图

常见电路元件的图形符号。

表 1-1 常见电路元件的图形符号

名 称	符 号	名 称	符 号	名 称	符 号
电池		电阻		连接导线	
开关		电位器		非连接导线	
电容		电流表		电灯	
线圈		电压表		接地	
铁芯线圈		二极管		接机壳	
直流发电机		三极管		直流电动机	
交流发电机		熔断器		交流电动机	

活动 1.1.2 电路中的基本物理量

1. 电流

电流是一种物理现象,是带电粒子有规则的定向运动形成的,通常将正电荷移动的方向规定为电流正方向。电流的大小用电流强度来衡量,其数值等于单位时间内通过导体某一横截面的电荷量。根据定义有

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

式中 i ——电流,其单位为安培(A);

dq ——通过导体截面的电荷量,电荷量的单位为库仑(C);

dt ——时间(s)。

式(1-1)表明,在一般情况下,电流是随时间变化的。如果电流不随时间而变化,即 $dq/dt = \text{常数}$,则这种电流就称为恒定电流(简称直流)。直流时,不随时间变化的物理量用大写字母表示,式(1-1)可写成

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

电流的方向一定是客观存在的,但在电路分析中,一些较为复杂的电路,有可能出现某段电流的实际方向难以判断的情况,甚至有时电流的实际方向还在随时间不断改变,于是要在电路中标出电流的实际方向较为困难。为了解决这一问题,在电路分析时,常采用电流的“参考方向”这一概念。电流的参考方向可以任意选定,在电路图中用箭头表示(当然,所选的参考方向不一定就是电流的实际方向)。当参考方向与电流的实际方向一致时,电流为正值($i > 0$);当参考方向与电流的实际方向相反时,电流为负值($i < 0$)。这样,在选定的参考方向下,根据电流的正负,就可以确定电流的实际方向。在分析电路时,先假定电流的参考方向,并以此去分析计算,最后用求得答案的正负值来确定电流的实际方向。

2. 电压

单位正电荷在电场力作用下,由 a 点运动到 b 点电场力所做的功,称为电路中 a 到 b 间的电压,即

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

式中 u_{ab} —— a 点到 b 点间的电压,电压的单位为伏(V);

dW_{ab} —— dq 的电荷从 a 点到 b 点所做的功,功的单位为焦(J)。

在直流时,式(1-3)可写成

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

电压的单位是伏特,简称伏,用符号 V 表示,常用的还有千伏(kV)、毫伏(mV)等。在分析电路时,电压的方向不能确定时,也可以先假定一个方向作为电压的参考方向,用带箭头的实线表示。当电压的参考方向与实际方向一致时,电压为正($u > 0$);相反时,电压为负($u < 0$)。

3. 电位

在电路中任选一点为参考点,电路中某点到参考点的电压值就称为该点的电位。电位的

单位为伏(V)。电路参考点本身的电位 $V_0 = 0$, 参考点又称为零电位点。根据定义, 电位实际上就是电压, 即

$$V_a = U_{a0} \quad (1-5)$$

可见, 电位也可为正或负值, 某点的电位高于参考点, 则为正值, 反之为负值。任选参考点, 则 a 、 b 两点的电位分别为 $V_a = U_{a0}$ 、 $V_b = U_{b0}$ 。按照做功的定义, 电场力把单位正电荷从 a 点移到 b 点所做的功, 等于把单位正电荷从 a 点移到 b 点, 再移到 b 点所做的功的和, 即

$$U_{ab} = U_{a0} + U_{0b} = U_{a0} - U_{b0} = V_a - V_b$$

或

$$U_{ab} = V_a - V_b \quad (1-6)$$

式(1-6)表明, 电路中 a 、 b 两点间的电压等于 a 、 b 两点的电位差, 因而电压又称电位差。

注意: 同一点的电位值是随着参考点的不同而变化的, 而任意两点之间的电压却与参考点的选取无关。

例 1-1 电路如图 1-3 所示: 当 $V_a = 3 \text{ V}$, $V_b = 2 \text{ V}$ 时, 求 u_1 、 u_2 。

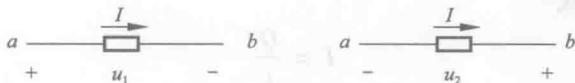


图 1-3 例 1-1 的图

解:

$$u_1 = u_a - u_b = 1 \text{ (V)}$$

$$u_2 = u_b - u_a = -1 \text{ (V)}$$

4. 电动势

电动势是衡量电源将非电能转化为电能本领的物理量。电动势的定义为: 在电源内部, 电源力把单位正电荷从电源负极移到电源正极所做的功, 用字母 E 表示。

如果电源力把电荷量为 q 的电荷从电源负极经电源内部移到电源正极所做的功为 W , 则电动势可表示为

$$E = \frac{W}{q} \quad (1-7)$$

电源内部电源力的方向由负极指向正极, 因此电源电动势的方向规定为由电源负极经电源内部指向电源正极。电动势的单位是伏特, 简称伏(V)。

5. 电能和电功率

电流在电路中流通时, 将电源的电能传给了负载(用电设备), 负载将吸收的电能转换成其他形式的能量, 即电流做了功, 消耗了电能。负载在工作时间消耗的电能(也称为电功)用 W 表示。电能的国际单位是焦耳, 简称焦, 符号是 J。

$$W = UIt$$

电功率是指单位时间内, 某段电路传送或转换的电能, 用 P 表示。电功率的国际单位是瓦特, 简称瓦, 符号是 W。

$$P = \frac{W}{t} = UI$$

在实际应用中, 常用的功率单位有千瓦(kW), 电能单位有千瓦时(kW·h), 1 千瓦时即为

平常所说的“1 度电”。

6. 电气设备的额定值

电气设备在给定的工作条件下,正常运行时所规定的最大允许值称为额定值。实际工作时,如果超过额定值,会使电气设备使用寿命缩短或造成损坏;如果小于额定值,则会使电气设备的利用率降低,甚至不能正常工作。电气设备的额定值包括额定电压、额定电流、额定功率,分别用 U_N 、 I_N 、 P_N 表示。

活动 1.1.3 电源及等效电路

电源是电路能量的来源,也是电路的主要元件之一。电池、发电机等都是实际的电源。在电路分析时,常用等效电路来代替实际的部件。一个实际电源的外特性,即电源端电压与输出电流之间的关系可以用两种不同的电路模型来表示,一种是电压源,一种是电流源。

1. 电压源

一个电源没有内阻,其端电压与负载电流的变化无关为常数,则这个电源称为理想的电压源,用 U_s 表示。通常稳压电源、发电机可视为理想电压源。但实际的电源都不会是理想的,总是有一定的内阻,因此,在电路分析时,对电源可以用一个理想的电压源与内阻相串联的电路模型——电压源来表示,如图 1-4 所示。

2. 电流源

当一个电源的内阻为无穷大,其输出电流与负载的变化无关为常数,则这个电源称为理想电流源,用 I_s 表示。常用的光电电池与一些电子器件构成的稳流器,可以认为是理想的电流源。理想电流源实际上是不存在的,对于一个实际的电源,也可以用一个理想的电流源与内阻并联的电路模型——电流源来替代,如图 1-5 所示。

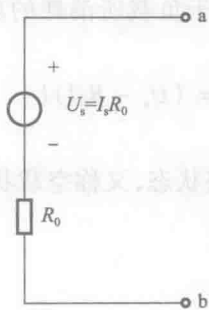


图 1-4 电压源符号

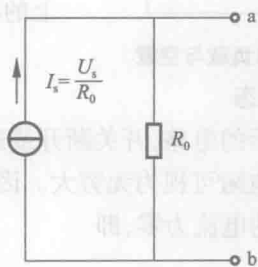


图 1-5 电流源符号

3. 电压源与电流源的等效变换

如果电压源和电流源的外特性相同,即在相同电阻 R 上产生相等的电压 U 与电流 I ,电压源和电流源可以等效变换。如图 1-6 所示,两种电源的等效变换关系为

$$I_s = \frac{U_s}{R_0}, \quad U_s = R_0 I_s \quad (1-8)$$

在等效变换时还需注意以下内容:

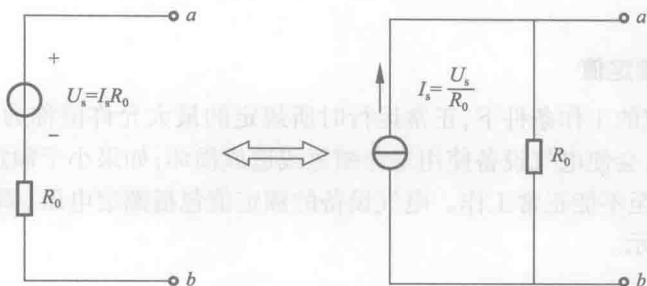


图 1-6 电压源与电流源的等效变换

(1) 电压源与电流源的等效变换指对外电路等效,对内电路不等效。

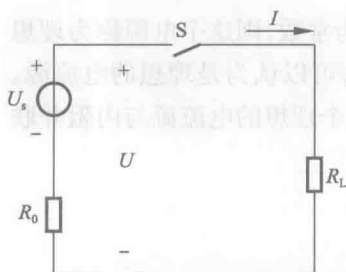
(2) 理想电压源与理想电流源之间不能进行等效变换。

(3) 等效变换时, U_s 与 I_s 的方向是一致的,即电压源的正极与电流源的输出电流的一端相对应。

4. 电路的工作状态

(1) 负载状态

在图 1-7 所示的电路中,如果开关闭合,电源则向负载提供能量,负载处于正常工作状态,这时电路有如下特征。



1) 电路中的电流为

$$I = \frac{U_s}{R_0 + R_L} \quad (1-9)$$

2) 电源的端电压等于负载两端的电压,为

$$U = U_s - R_0 I \quad (1-10)$$

3) 电源输出的功率等于负载所消耗的功率(不计线路上的损失),为

$$P = UI = (U_s - R_0 I)I \quad (1-11)$$

图 1-7 电路的负载与空载

(2) 空载状态

图 1-7 所示的电路,开关断开或连接导线折断时的开路状态,又称空载状态。电路在空载时,外电路的电阻可视为无穷大。因此电路具有下列特征:

1) 电路中的电流为零,即

$$I = 0 \quad (1-12)$$

2) 电源的端电压为开路电压 U_0 ,并且有

$$U_0 = U_s \quad (1-13)$$

3) 电源对外电路不输出电流,因此有

$$P = UI = 0 \quad (1-14)$$

(3) 短路状态

图 1-7 所示的电路中,电源的两输出端线,因绝缘损坏或操作不当,导致两端线相接触,电源被直接短路,这种状态称为短路状态。

当电源被短路时,外电路的电阻可视为零,这时电路具有以下特征: