



国家技能型紧缺人才培养培训工程系列教材
高职高专规划教材

(汽车运用与维修专业)

汽车电工电子 技术基础

高树德 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



国家技能型紧缺人才培养培训工程系列教材
高 职 高 专 规 划 教 材
(汽车运用与维修专业)

汽车电工电子技术基础

主编 高树德
参编 刘俊萍 宿 曦 董春霞
主审 郝 军



机 械 工 业 出 版 社

本书是国家技能型紧缺人才培养培训工程系列教材之一，是高职高专规划教材。

本书是依据教育部颁布的汽车运用与维修专业的指导性方案而编写的。主要内容包括：直流电路、正弦交流电路、磁路与电磁感应、常用电器、安全用电、电机、半导体器件及应用、数字电子技术等。每章后附有练习题和实验实训项目。

本书深入浅出，针对性强，可作为高职高专院校、成人高校汽车、机械等非电类专业电工电子技术课程的教材，也可作为工程技术人员的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

汽车电工电子技术基础/高树德主编. —北京：机械工业出版社，2005.8

国家技能型紧缺人才培养培训工程系列教材

高职高专规划教材. 汽车运用与维修专业

ISBN 7-111-17100-4

I. 汽... II. 高... III. ①汽车—电工—高等学校：技术学校—教材②汽车—电子技术—高等学校：技术学校—教材 IV. U463.6

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第088022号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑：张双国 宋学敏 版式设计：霍永明 责任校对：申春香

封面设计：陈 沛 责任印制：李 妍

北京铭成印刷有限公司印刷

2006年1月第1版第2次印刷

787mm×1092mm 1/16·10.75印张·250千字

3001—7000册

定价：17.00元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68326294

封面无防伪标均为盗版

国家技能型紧缺人才培养培训工程系列教材

汽车运用与维修专业编委会

主 任	靳和连	天津交通职业学院
副主任	林为群	天津交通职业学院
	姜炳坤	天津开发区职业技术学院
	高树德	吉林交通职业技术学院
	张吉国	内蒙古交通职业技术学院
	蓝伙金	机械工业出版社职教分社
委 员	吴成立	河南职业技术学院
	霍振生	包头职业技术学院
	张西振	辽宁省交通高等专科学校
	任成尧	山西交通职业技术学院
	杨益民	南京交通职业技术学院
	顾振华	河北工业职业技术学院
	娄 云	河南机电高等专科学校
	张金柱	黑龙江工程学院
	汪晓晖	南通航运职业技术学院

国家技能型紧缺人才培养培训工程系列教材

汽车运用与维修专业审委会

主 任	林为群	天津交通职业学院
副主任	韩 梅	辽宁省交通高等专科学校
	吴宗保	天津交通职业学院
	张世荣	天津工程师范学院
	宋学敏	机械工业出版社职教分社
委 员	孔令来	天津职业大学
	李春明	长春汽车工业高等专科学校
	刘 锐	吉林交通职业技术学院
	毛 峰	辽宁省交通高等专科学校
	王世震	承德石油高等专科学校
	边 伟	南京交通职业技术学院

注：排名不分先后

出版说明

根据“教育部等六部委关于实施职业院校制造业和现代服务业技能型紧缺人才培养培训工程的通知(教职成[2003]5号)”、“教育部关于制定《2004~2007年职业教育教材开发编写计划》的通知(教职成司函[2004]13号)”等的文件精神,实施《2003~2007年教育振兴行动计划》中提出的“制造业和现代服务业技能型紧缺人才培养培训计划”,深化教育教学改革,推动职业教育与培训全面发展,大力提高教学质量,争取在2005年内,完成教育部会同有关部委和行业组织已颁布专业教学指导方案的数控技术应用、汽车运用与维修、计算机应用与软件技术和护理四个专业领域核心教学与训练项目的教材及配套多媒体课件的开发编写任务(教学指导方案已分别以教职成厅[2003]3、4、5、6号文件发布)。机械工业出版社根据教育部颁布的指导性方案组织了本套国家技能型紧缺人才培养培训工程系列教材。

本套教材为落实《国务院关于大力推进职业教育改革与发展的决定》中提出的“积极推进课程和教材改革,开发和编写反映新知识、新技术、新工艺、新方法,具有职业教育特色的课程和教材”的要求,坚持以就业为导向,以能力为本位,面向市场、面向社会,为经济结构调整和科技进步服务,为就业和再就业服务,为农村、农业和农民服务。积极贯彻“两级规划、两级管理”制度,充分发挥地方、行业和职业院校的积极性,尊重群众首创精神,鼓励教材不断创新,努力建立适应社会主义市场经济体制和现代化建设需要,反映现代科学技术水平,具有职业教育特色,品种多样,系列配套,层次衔接,有利于培养高素质劳动者和高、中级实用人才的高等职业教育与培训教材体系。

本套教材适合于高职高专、成人高校和民办高校使用。

机械工业出版社
2005年3月

前 言

本书是根据教育部 2004 年颁布的高职高专汽车类教学要求编写的。

本书在编写过程中,力求做到:精选内容,避免与相关课程的重复;重视基本概念,避免繁杂的理论推导;因材施教,充分考虑学生现有知识基础;突出应用,尽力使知识和技能与专业需求贴近。

电工电子技术所涵盖的内容非常广泛,传统汽车类专业在教材的选取上往往难以做到针对性强,如电机、数字电路、常用电器、安全用电等。本书在这些传统内容的基础上,重点突出了汽车专业的实际需求与应用。

担任本书编写工作的有:吉林交通职业技术学院高树德(第一、五、六章及全书统稿),天津交通职业学院刘俊萍(第二、三章),吉林交通职业技术学院宿曦(第四、七章),天津职业大学董春霞(第八章)。

本书由承德石油高等专科学校郝军高级工程师主审,郝老师仔细阅读了全部书稿,提出了许多宝贵意见,对此编者向他表示衷心的感谢。

在本书编写过程中,管秀君等同行提出了很多颇有见地的意见和建议,在此一并表示感谢。

鉴于编者水平有限,书中肯定存在错误或不妥,敬请同行和读者批评指正。

编 者

目 录

出版说明

前言

第一章 直流电路 1

第一节 电路的基本知识 1

第二节 电路的基本分析方法 8

本章小结 16

实验一 认识实验 16

实验二 戴维南定理 17

练习题 17

第二章 正弦交流电路 19

第一节 正弦交流电的基本概念 19

第二节 单相正弦交流电路 24

第三节 三相交流电路 30

本章小结 34

实验三 单相正弦交流电路电压、电流 及相量图 34

实验四 三相正弦交流电路电压、电流、 功率的测量 35

练习题 35

第三章 磁路与电磁感应 37

第一节 磁路与霍尔效应 37

第二节 电磁感应 41

本章小结 46

练习题 46

第四章 常用电器 48

第一节 变压器 48

第二节 汽车常用电器 54

本章小结 62

实验五 单相变压器的使用和常用汽车

电器的识别 62

练习题 62

第五章 电机 64

第一节 直流电机 64

第二节 硅整流发电机 71

本章小结 75

实验六 汽车起动机性能检测 75

练习题 77

第六章 安全用电常识 78

第一节 用电必知的常识 78

第二节 安全用电 82

本章小结 86

练习题 86

第七章 半导体器件及应用 87

第一节 半导体的基本知识 87

第二节 晶闸管 101

第三节 晶体管 104

第四节 基本交流放大电路 109

第五节 多级放大电路 113

第六节 互补对称功率放大电路 115

第七节 集成运算放大器 119

第八节 放大电路中的反馈 125

本章小结 128

实验七 三种仪器的使用 128

实验八 整流稳压电路 128

实验九 交流电压放大电路 129

实验十 集成运算放大电路 129

练习题 130

第八章 数字电子技术	133	实验十一 触发器	154
第一节 组合逻辑电路	133	练习题	156
第二节 时序逻辑电路	144	部分习题参考答案	161
本章小结	154	参考文献	163

第一章 直流电路

学习目标：

理解电路的基本定律和定理，学会运用定律和定理分析电路的方法，能够熟练运用支路电流法、戴维南定理解决复杂直流电路的计算问题。

本章是在中学物理“电学”的基础上讨论电路的基本知识、基本定律和定理，然后再利用这些定律、定理解决电路的分析和计算问题。这些方法在交流电路中也是适用的，本章重点是电路的分析方法。

第一节 电路的基本知识

一、电路的组成和作用

图 1-1 所示为一个手电筒电路，电路中有电源、灯泡、开关和导线。当开关闭合时，电路接通，灯泡亮，否则灯泡不亮。由此可知：电路就是电流流通的路径（电路也称为网络）；电路由电源、负载、连接导线（含控制器件）三部分组成。电源是将非电能量如机械能、化学能、太阳能、核能等转变为电能的装置，如蓄电池、发电机等。负载是把电能转变成非电能的装置，如照明灯、起动机、车用点烟器空调机等。连接导线是沟通电源与负载的“桥梁”，起着输送电能的作用，控制器件是电路工作中不可缺少的器件，如开关、继电器、熔断器等。

当电路中的电流是不随时间变化而变化时，这样的电路就称为直流电路；如果电路中的电流是随时间变化而变化的，则称这种电路为交流电路。国家有关标准规定：不随时间变化的物理量用大写字母表示，随时间变化的物理量用小写字母表示，所以，电流、电压、电动势在直流电路中用 I 、 U 和 E 表示，而在交流电路中则用 i 、 u 和 e 表示。

二、电路的状态

所有电路都是为完成某种功能或作用而设计制作的，而电路在不同的工作条件下，会处于不同的状态，且具有不同的特点。总结起来，电路共有三种状态，即通路、开路和短路。

1. 通路

如图 1-1 所示，当开关 S 闭合时，电流经电源正极、灯泡、开关、电源负极构成回

路, 这种状态称为通路, 这时电源的工作状态称为有载状态。

2. 开路

如图 1-1 所示, 当电路与电源断开时, 电路中没有电流流动, 这种状态称电路为开路状态。当开关 S 断开时, 电源的工作状态为空载状态。

3. 短路

当电路的两端被导线或开关连接起来, 使得电路中的电流全部流过导线或开关时, 电路所处的状态称为短路状态, 如图 1-2 所示。

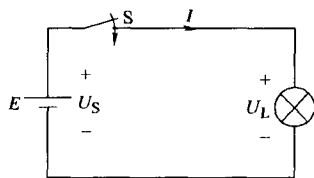


图 1-1 手电筒电路

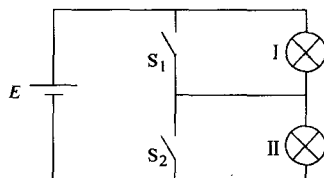


图 1-2 短路

三、电路中的参考点及参考方向

1. 参考点

在汽车电路的维修中或分析计算某种电路时, 通常把电路中的某一点作为参考点, 并规定其电位为零, 电路中其他任何一点与参考点之间的电压是该点的电位。

参考点可以任意选择, 但为统一起见, 工程上常选大地为参考点。机壳需要接地的设备, 可以把机壳作为参考点。有些电子设备的机壳虽然不接地, 为方便起见, 把其公共点选作参考点, 也称为“地”, 在电路图中用“⊥”表示, 如图 1-3a 所示。汽车等行走机械, 由于其壳体多为金属, 故把车体作为参考点, 且多为单线制电路, 如图 1-3b 所示。

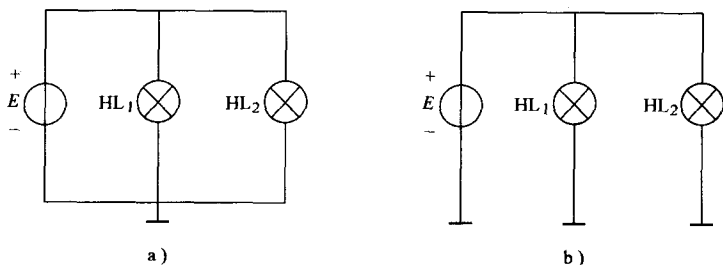


图 1-3 单、双线制电路

a) 双线制电路 b) 单线制电路

双线制电路是指负载的两端用两根导线分别连接到电源的正、负极上, 如图 1-3a 所示。单线制电路是指负载的其中一端利用车体连接到电源的负极, 俗称“搭铁”, 如图 1-3b 所示。

2. 参考方向

从物理学可知: 电流的方向是指正电荷运动的方向, 而电压的方向是由高电位指向低

电位的方向, 电动势的方向是由低电位指向高电位的方向, 这些都是人为规定的。在分析计算电路时, 人们总是力图弄清电流、电压的实际方向, 而在实际电路中又很难判断, 为此, 引入一个参考方向的概念。

参考方向是指: 在一个二端元件上, 任意选定一个方向作为电流的参考方向, 并用箭头标出, 以后的计算和分析均以此为参考。当然, 它可能与实际方向不一致, 当计算的结果为正值时, 说明假设与实际相符; 当计算结果为负值时, 则说明电流的实际方向是假设的相反方向。

电压的参考方向也可以任意选定, 它与电流参考方向的选定是独立无关的, 但是为了分析和计算的方便, 选择时, 常使电流与电压的参考方向一致。如图 1-4 所示, 即如果选定了电流的方向, 则电压的方向也就随电流的方向而确定; 反之, 如果选定了电压的参考方向, 电流的参考方向也以电压的方向而确定, 称此为关联参考方向。这样, 在电路图上只需标明一个(电流或电压)参考方向即可, 电压参考方向选定之后, 如果计算结果为正值, 说明实际方向与参考方向一致; 如果为负值, 则

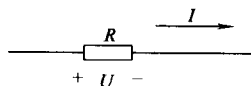


图 1-4 关联参考方向

实际方向与参考方向相反。

四、电压源、电流源及其等效变换

电压源是常见的电源, 而就电源来说可以用两种模型来表示, 以电压形式表示的称为电压源, 以电流形式表示的称为电流源。

1. 电压源

常用的电池、发电机、汽车用蓄电池等都是电压源, 也包括各种信号源, 这些以电压形式出现的电源, 都含有电动势 E 和内阻 R_0 , 如图 1-5a 所示。换句话说, 它们可以用 E 和 R_0 串联的电源模型来代替, 如图 1-5b 所示。

图中 U 是电源的端电压, R_L 是负载电阻, I 是负载电流。

根据图 1-5 所示的电路可知

$$U = E - R_0 I$$

由此, 可以作出电压源的外特性曲线, 如图 1-6 所示, 其中, U_0 为输出电压, I_s 为电源电流。

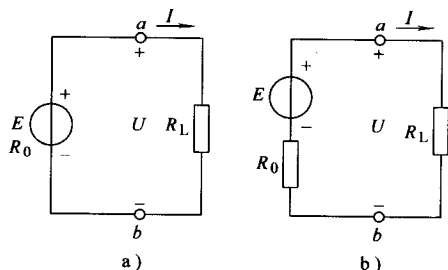


图 1-5 电压源电路

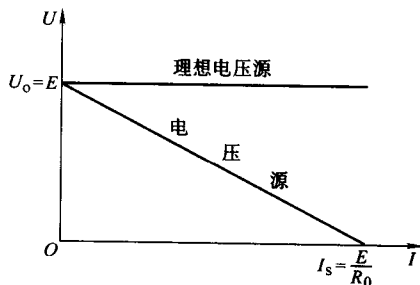


图 1-6 电压源和理想电压源的外特性曲线

当电压源开路时, $I=0$, $U=U_0=E$; 当短路时, $I=I_s=\frac{E}{R_0}$, 内阻 R_0 愈小, 则直线愈平。当 $R_0=0$ 时, 电压 U 恒等于电动势 E , 是定值, 而其中的电流是任意的, 其大小由 R_L 及 U 本身确定, 这样的电源称之为理想电压源或恒压源。如果电压源的内阻 R_0 很小, 即 $R_0 \ll R_L$, 则内阻压降 $R_0 I \ll U$, 故 $U \approx E$, 此时可以按理想电压源对待。通常用的电压源如无特殊说明, 都可认为是一个理想的电压源。

2. 电流源

电源除用电动势 E 和内阻 R_0 串联的电压源电路模型表示外, 还可以用电流源的模型来表示, 如图 1-7 所示。将 $U=E-R_0 I$ 两端除以 R_0 , 可得

$$\frac{U}{R_0} = \frac{E}{R_0} - I = I_s - I$$

故

$$I_s = \frac{U}{R_0} + I$$

式中, $I_s = \frac{E}{R_0}$ 为电源的短路电流; I 是负载电流。

与电压源模型比较, 就负载电阻 R_L 来说, 其两端的电压 U_{ab} 和流过的电流 I 是一样的, 并没有改变。就此, 可以作出电流源的外特性曲线如图 1-8 所示。当电流源开路时, $I=0$, $U=U_0=I_s R_0$; 当电流源短路时, $U=0$, $I=I_s$ 。内阻 R_0 愈大, 则直线愈陡。

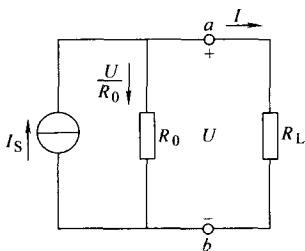


图 1-7 电流源电路

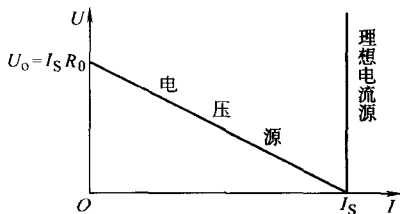


图 1-8 电流源和理想电流源的外特性曲线

当 $R_0 = \infty$ 时, (相当于 R_0 断开), 电流 I 恒等于电流 I_s , 是一定值, 而其两端的电压 U 是任意的, 由 R_L 和 I_s 本身确定。这样的电流源称为理想电流源或恒流源。理想电流源是理想电源, 一般来说, 如果 $R_0 \gg R_L$, 则 $I \approx I_s$ 基本恒定, 可以认为是理想电流源。

3. 电压源与电流源等效互换

从电压源和电流源的外特性曲线可以看出, 它们是相同的, 也可以等效变换。需要特别指出的是, 这种变换的关系只对外电路而言, 亦即对负载电阻 R_L 而言是可以等效的, 对内部则是不等效的。下面通过一个例题来说明。

例 1-1 汽车用发电机电动势 $E=12\text{V}$, 内阻 $R_0=0.05\Omega$, 负载电阻 $R_L=2\Omega$, 试用电压源和电流源两种模型分别求出电压 U 和电流 I 。

解 如图 1-9 所示是电压源和电流源电路。

在图 1-9a 电压源电路中

$$I = \frac{E}{R_0 + R_L} = \frac{12}{0.05 + 2} \text{ A} = 5.85 \text{ A}$$

$$U = R_L I = 2 \times 5.85 \text{ V} = 11.7 \text{ V}$$

在图 1-9b 电流源电路中

$$I = \frac{R_0}{R_0 + R_L} \frac{E}{R_0} = \frac{0.05}{0.05 + 2} \times \frac{12}{0.05} \text{ A} = 5.85 \text{ A}$$

可见, 电压源与电流源对外电路而言是等效的, 其中 $I_s = \frac{E}{R_0}$ 或 $E = R_0 I_s$ 。用电路图表
示如图 1-10 所示。

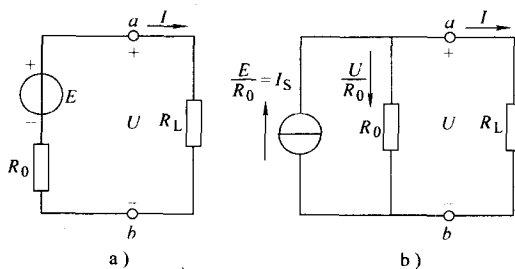


图 1-9 例 1-1 电路

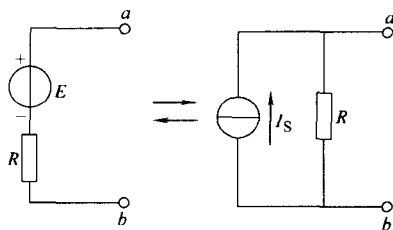


图 1-10 电压源和电流源的等效变换

例 1-2 用电压源与电流源等效变换的方法计算图 1-11a 所示 1Ω 电阻上的电流 I 。

解 根据图 1-11 所示的变换次序, 最后图 1-11a 简化为图 1-11f 电路, 由此可得

$$I = \frac{2}{2+1} \times 3 \text{ A} = 2 \text{ A}$$

变换时, 一定要注意电流源电流方向和电压源电压极性。

例 1-3 电路如图 1-12 所示, 已知 $U_1 = 10\text{V}$, $I_s = 2\text{A}$, $R_1 = 1\Omega$, $R_2 = 2\Omega$, $R_3 = 5\Omega$, $R = 1\Omega$, 求流过电阻 R 的电流 I 。

解 可以将与 U_1 并联的电阻 R_3 去掉(断开), 因为这不会影响 U_1 两端的电压; 还可以将与 I_s 串联的电阻 R_2 去掉(短路), 也不会影响 I_s 的电流值。简化后的电路如图 1-12b 所示, 然后将电压源变换为电流源如图 1-12c 所示, 由此得

$$I_1 = \frac{U_1}{R_1} = \frac{10}{1} \text{ A} = 10 \text{ A}$$

$$I = \frac{I_1 + I_s}{2} = \frac{10 + 2}{2} \text{ A} = 6 \text{ A}$$

五、基尔霍夫定律

欧姆定律确定了电阻元件上电流和电压之间的关系, 即 $U = RI$ 。电路中还有一个重要定律即基尔霍夫定律, 这是德国物理学家基尔霍夫于 1874 年提出的, 该定律阐述了复杂

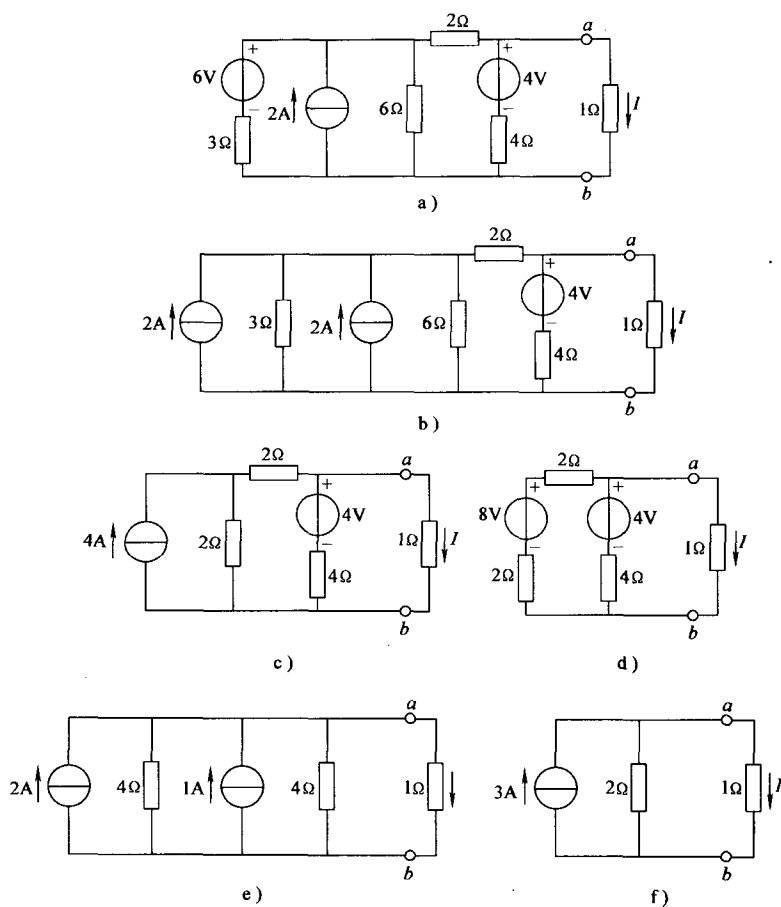


图 1-11 例 1-2 电路

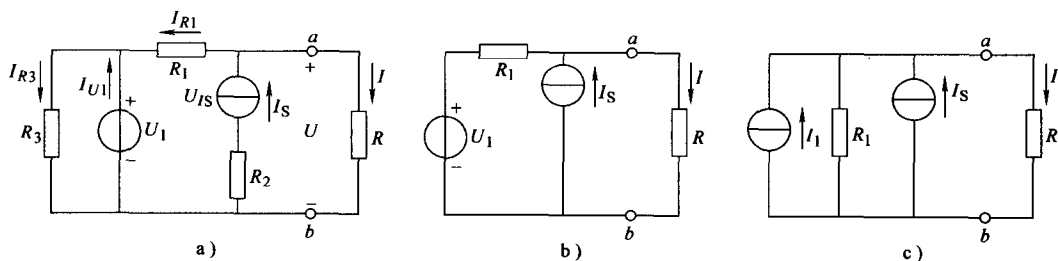


图 1-12 例 1-3 电路

电路中电流与电压两个定律。首先明确几个名词，为两个定律的学习提供方便。

结点：电路中三个或三个以上元件的连接点称为结点，如图 1-13 所示的点 a 和点 b 。

支路：两个结点之间的每一条电路都可称为支路，支路中通过的电流是同一电流，如图 1-13 所示，有 adb 、 acb 、 ab 三条支路。

回路：电路任一闭合路径称为回路，如图 1-13 所示有 $acbdb$ 、 $adbR_3a$ 和 $acbR_3a$ 三个回路。

1. 基尔霍夫电流定律(KCL)

基尔霍夫电流定律是说明电路中任何一个结点上各支路之间相互关系的定律，即流入任一结点的电流之和必等于流出该结点的电流之和。在图 1-13 中，对结点 a 来说则有

$$I_1 + I_2 = I_3 \text{ 或 } I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

图 1-13 基尔霍夫定律

也可以说，如果把流入结点的电流取正号，流出结点的电流取负号，那么结点上电流的代数和为零。这个结论对于任意一个结点都是适用的，对任意波形的电流在任一瞬间也是适用的。由此，基尔霍夫电流定律可表述为：在电路的任何一个结点上，同一瞬间电流的代数和等于零，用公式表示，即

$$\sum i = 0 \quad (1-1)$$

在直流电路中，则为

$$\sum I = 0 \quad (1-2)$$

基尔霍夫电流定律不仅是对任一结点适用，也可以推广到电路中任何一个假定的闭合面，在如图 1-14 所示的晶体管中，对虚线所示的闭合面来说，三个电极电流的代数和等于零，即 $I_B + I_C - I_E = 0$ 。由于闭合面具有与结点相同的性质，因此称为广义结点。

例 1-4 在图 1-13 中，已知 $I_1 = 2\text{A}$ ， $I_2 = 3\text{A}$ ，试求 I_3 。

解 根据图中电流的方向，应用基尔霍夫电流定律可得

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

$$\text{则} \quad 2\text{A} + 3\text{A} - I_3 = 0$$

$$\text{所以} \quad I_3 = 5\text{A}$$

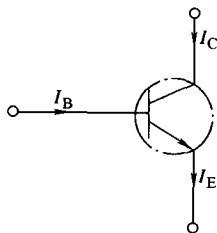


图 1-14 广义结点

2. 基尔霍夫电压定律(KVL)

基尔霍夫电压定律是说明电路中任何一个回路中各元件上的电压之间相互关系的基本定律，即沿回路绕行一周，电位升之和必等于电位降之和。在图 1-13 中，对回路 $adbca$ 则有

$$U_{S2} - U_2 + U_1 - U_{S1} = 0$$

这里，把沿绕行方向电位降取正号，电位升取负号。这一结论适用于任一闭合回路，也适应于任意波形在任一瞬时的电压。因此，基尔霍夫电压定律可表述为：在电路的任何一个回路中，沿同一方向进行，同一瞬间电压的代数和等于零。用公式表示，即

$$\sum u = 0 \quad (1-3)$$

在直流电路中，则为

$$\sum U = 0 \quad (1-4)$$

基尔霍夫电压定律不仅适用于任一闭合回路，而且可以推广到任何一个假想闭合的一段电路，如图 1-15 所示，只要把 ab 两点间的压降同电阻 R 的压降一样对待即可，即

$$-U + U_S + RI = 0$$

例 1-5 有一闭合回路, 如图 1-16 所示, 各支路的元件是任意的, 已知: $U_{ab} = 5\text{V}$, $U_{bc} = -4\text{V}$, $U_{da} = -3\text{V}$ 。

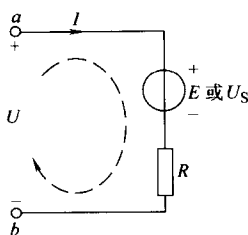


图 1-15 基尔霍夫电压定律推广到一段电路

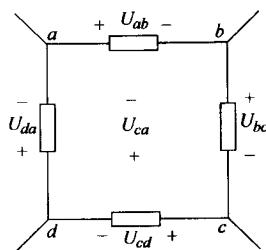


图 1-16 例 1-5 电路

求: 1) U_{cd} ; 2) U_{ca} 。

解 1) 由基尔霍夫电压定律可得

$$U_{ab} + U_{bc} + U_{cd} + U_{da} = 0$$

$$\begin{aligned} \text{即} \quad & 5\text{V} + (-4\text{V}) + U_{cd} + (-3\text{V}) = 0 \\ \text{得} \quad & U_{cd} = 2\text{V} \end{aligned}$$

2) $abca$ 不是闭合回路, 也可应用基尔霍夫电压定律列出

$$U_{ab} + U_{bc} + U_{ca} = 0$$

$$\begin{aligned} \text{即} \quad & 5\text{V} + (-4\text{V}) + U_{ca} = 0 \\ \text{得} \quad & U_{ca} = -1\text{V} \end{aligned}$$

第二节 电路的基本分析方法

一、支路电流法

简单直流电路指无论从表面看电路多么复杂, 但总可以用串、并联的方法解决; 而复杂直流电路则是无论表面看电路多么简单, 但用串、并联的方法并不能解决。支路电流法是解决复杂直流电路的最基本方法, 同样也适用于解决复杂交流电路。支路电流法的基本思路是: 以支路电流为求解对象, 以基尔霍夫两个定律为基本依据, 列写方程, 然后求解, 其解题步骤如下:

1) 选定各支路电流和独立回路的方向。注意: 选定支路电流方向时, 不必考虑电源的极性, 该方向是假定的, 可以任意选择。选择过程中要看清支路数, 因为, 有几条支路就要列写几个独立方程式, 独立方程式的个数为: 独立结点数 + 独立回路数。独立结点数 = 结点数 $(n) - 1$, 独立回路数 = 支路数 $(b) -$ 独立结点数 $(n) + 1$ 。通常独立回路数等于网孔数。如图 1-17 所示, 共有 3 条支路, 2 个结点, 2 个网孔, 各支路电流已标出。

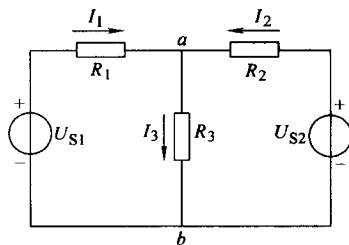


图 1-17 支路电流法