

 北极光



卓越工程师
培养计划丛书

消防电工电子 实用案例解析

◎ 卢玉书 刘晓军 骆建伟 常 宁 雷朝军 编著



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

卓越工程师培养计划丛书

消防电工电子实用案例解析

卢玉书 刘晓军 编著
骆建伟 常宁 雷朝军



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书以案例教学为特色,围绕从事消防专业必需的电工与电子技术基本知识、基本方法和基本技能,将理论知识和实际案例相结合,体现了学用合一的教学过程,以强化学生的工程应用能力和创新意识为宗旨。

本书内容包括烟雾报警器实用电路、日光灯照明电路、电热毯温控电路、电焊机的点焊电路、555 定时器构成的典型应用电路、消防应急灯控制电路、红外火焰探测器、CO 探测报警电路、货梯升降机的继电-接触器控制、消火栓用消防泵一用一备的电气控制、消火栓用消防泵一用一备降压启动控制、防火卷帘门的电气控制、1000MW 汽轮发电机转子绕组短路故障诊断与分析、消防工程中漏电火灾报警系统、高压输电线路的接地装置、多层住宅的建筑防雷、压油泵软启动过载原因分析、照明线路及其故障检修、照明灯具及其故障检修、建筑照明质量与照度计算 20 个案例。对每个案例都从其相关知识、工作原理、线路特征及应用中的注意事项几个方面作了详细分析。

本书图文并茂、通俗易懂,具有较强的启发性和实用性,可供广大电工人员、消防电气技术人员、工科院校相关专业师生以及电工、电子爱好者阅读参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

消防电工电子实用案例解析 / 卢玉书等编著. —北京:电子工业出版社, 2014.9

(卓越工程师培养计划丛书)

ISBN 978-7-121-24072-0

I. ①消… II. ①卢… III. ①消防—电工技术②消防—电子技术 IV. ①TU998.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 187114 号

策划编辑:柴 燕

责任编辑:张 京

印 刷:北京京师印务有限公司

装 订:北京京师印务有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:787×1092 1/16 印张:18 字数:460.8 千字

版 次:2014 年 9 月第 1 版

印 次:2014 年 9 月第 1 次印刷

定 价:58.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

前 言

随着现代科学技术的发展,电子和信息技术在各个领域都得到了广泛的应用,这种应用在很大程度上促进了各行业的内部发展,电气自动化程度日益提高,所用的电气设备越来越复杂,对相应的基本理论知识、应用技术的要求也越来越高。在消防专业领域,电子技术的优势和应用效果已非常明显地表现在工程的各个阶段和环节。

为适应消防领域对消防专业技术人员实践能力的需要,课题组通过对普通高等学校电工电子技术课程教学情况及消防专业和消防部队对于电类知识需求情况的研究,收集、整理了和消防专业电工与电子技术紧密相关的内容和案例素材,并进行了案例的构建和研究。同时,结合电工与电子技术课程的教学经验,按照“案例展示,提出课题;启发引导,自主探究;归纳总结,应用迁移”等基本环节,进行了“电工与电子技术”案例教学的实践,以突出对学员分析问题、解决问题能力的培养,并通过学员的反馈,及时调整和优化了案例库内容。经过多次案例研究、调整和完善,基本实现了案例相对独立又相互衔接,增加了教学内容的灵活性和延展性,以适应不同专业、不同地区、不同学校、不同学制的教学需要。

本书由武警学院基础部电子技术教研室老师共同完成,具体的编写分工为:骆建伟副教授编写案例1~4,刘晓军副教授编写案例5~8,卢玉书教授编写案例9~12,雷朝军副教授编写案例13~17,常宁副教授编写案例18~20。全书由卢玉书教授统稿。

本书在编写过程中参考并引用了大量书刊资料及有关单位的科研成果和技术总结,吸取了许多有益的知识和经验,在此向这些文献的作者致以最衷心的感谢!同时,本书在编写过程中,先后得到了许多同人的大力支持和帮助,亦在此表示诚挚的谢意!

由于作者水平有限,尽管课题组成员力图在认真总结电工与电子技术在消防专业领域实际应用的基础上展开研究,集理论与应用为一体,但因涉及学科领域较多,需要的知识面较广,再加上作者实践经验不足,书中难免有不足之处,敬请读者批评指正。

编 者

目 录

案例 1 烟雾报警器实用电路	(1)
1.1 直流电路	(1)
1.1.1 电路的基本定律	(1)
1.1.2 电路的分析方法	(3)
1.1.3 直流电桥	(6)
1.2 光敏电阻和继电器	(7)
1.2.1 光敏电阻	(7)
1.2.2 继电器	(8)
1.3 烟雾报警器电路工作原理	(9)
1.4 烟雾报警器分析及设计	(10)
1.4.1 电路分析及计算	(10)
1.4.2 电路设计	(10)
1.4.3 拓展练习	(11)
案例 2 日光灯照明电路	(12)
2.1 交流电路	(12)
2.1.1 正弦交流电及其表示方法	(12)
2.1.2 交流电路中的电阻、电感	(14)
2.1.3 交流电路中的功率	(17)
2.2 日光灯照明电路分析	(18)
2.2.1 镇流器工作原理	(18)
2.2.2 启辉器工作原理	(19)
2.2.3 日光灯启动和工作过程	(19)
2.3 日光灯常见故障分析与处理	(20)
2.4 照明功率计算——功率因数提高	(22)
2.5 频闪效应的消除	(23)
案例 3 电热毯温控电路	(24)
3.1 二极管及其应用	(24)
3.1.1 二极管及其伏安特性	(24)
3.1.2 二极管用于整流电路	(25)
3.2 热敏电阻	(26)
3.2.1 正温度系数 (PTC) 热敏电阻	(27)
3.2.2 负温度系数 (NTC) 热敏电阻	(28)
3.2.3 临界温度 (CTR) 热敏电阻	(28)
3.3 单向晶闸管	(29)
3.4 电热毯温控电路	(30)
3.4.1 温控电路工作原理	(30)
3.4.2 温控电路特点及故障检修	(31)

3.5	带控制芯片的电热毯温控电路	(32)
案例 4	电焊机的点焊电路	(34)
4.1	变压器	(34)
4.1.1	变压器的工作原理	(34)
4.1.2	变压器的应用	(35)
4.2	含有储能元件的电路暂态分析	(39)
4.2.1	换路定律	(39)
4.2.2	一阶线性电路的暂态分析	(40)
4.2.3	三要素法	(42)
4.3	交流电焊机控制电路	(44)
4.3.1	交流电焊机工作原理分析	(44)
4.3.2	电焊机开关设计	(45)
4.3.3	直流电焊机和交流电焊机的区别	(46)
4.4	电焊机用电量的计算方法	(47)
案例 5	555 定时器构成的典型应用电路	(48)
5.1	555 定时器的组成及基本应用	(48)
5.1.1	555 定时器电路组成	(48)
5.1.2	555 定时器基本应用电路	(49)
5.2	红外热释电传感器	(53)
5.3	555 定时器构成的红外热释电探测报警电路	(53)
5.4	555 定时器构成的局部通风机延时触发电路	(56)
5.5	555 定时器构成的声光报警电路	(56)
5.6	555 定时器基本应用电路的总结	(57)
案例 6	消防应急灯控制电路	(61)
6.1	直流电源的组成及原理	(61)
6.1.1	整流电路	(61)
6.1.2	滤波电路	(63)
6.1.3	直流稳压电路	(64)
6.2	消防应急灯控制电路	(65)
6.3	集成稳压器的选择及应用电路	(66)
6.3.1	集成稳压器的选择	(66)
6.3.2	集成稳压电路的基本应用	(67)
6.4	开关稳压电源	(70)
6.4.1	开关型稳压电路的工作原理	(70)
6.4.2	集成开关型稳压器	(70)
案例 7	红外火焰探测器	(73)
7.1	红外火焰探测器光敏元件的组成	(73)
7.1.1	传感元件	(73)
7.1.2	窗口材料	(73)
7.1.3	光学成像元件	(73)
7.2	红外火焰探测器的类型及工作原理	(74)

7.2.1	单通道红外火焰探测器	(74)
7.2.2	双通道红外火焰探测器	(74)
7.2.3	多波段红外火焰探测器	(75)
7.3	双极型半导体三极管的正确使用	(75)
7.3.1	双极型半导体三极管的结构	(75)
7.3.2	双极型半导体三极管的三种组态	(75)
7.3.3	双极型半导体三极管的参数	(75)
7.3.4	双极型半导体三极管的型号	(76)
7.4	基本放大电路的工作原理	(77)
7.4.1	共射组态基本放大电路	(77)
7.4.2	共集组态基本放大电路	(78)
7.4.3	共基组态基本放大电路	(79)
7.5	多级放大电路的组成及分析	(80)
7.5.1	多级放大电路的连接	(80)
7.5.2	多级放大电路的动态分析	(82)
7.6	红外火焰探测器电路分析	(82)
7.7	传感器类型的选择	(83)
案例8 CO 探测报警电路		(85)
8.1	气体传感器的种类及特点	(85)
8.2	集成运算放大器的正确使用	(87)
8.2.1	集成运算放大器的结构	(87)
8.2.2	集成运算放大器的主要参数	(88)
8.2.3	集成运算放大器的电压传输特性	(88)
8.2.4	理想运算放大器	(89)
8.3	基本运算放大器电路的结构与分析	(89)
8.4	电压比较器	(91)
8.4.1	电压幅度比较器	(91)
8.4.2	滞回电压比较器	(91)
8.4.3	窗口比较器	(92)
8.5	CO 探测报警电路原理分析	(93)
8.6	集成运算放大器的选择与使用	(94)
8.6.1	集成运算放大器的选择	(94)
8.6.2	集成运算放大器的使用要点	(94)
案例9 货梯升降机的继电-接触器控制		(98)
9.1	货梯升降机驱动用电机的正确使用	(98)
9.1.1	三相异步电动机的结构	(98)
9.1.2	三相异步电动机的工作原理	(102)
9.1.3	三相异步电动机的工作特性	(104)
9.2	货梯升降机上升的控制	(105)
9.2.1	货梯升降机上升的点动控制	(105)
9.2.2	货梯升降机上升的连续运行控制	(109)

9.3	货梯升降机上升、下降的自动控制	(112)
9.3.1	货梯升降机上升、下降的手动控制	(112)
9.3.2	货梯升降机上升、下降的自动停止控制	(115)
9.4	电动机的防火措施	(124)
9.4.1	电动机的火灾危险性	(124)
9.4.2	电动机的防火措施	(126)
9.5	电气控制线路的绘图原则及标准	(128)
9.5.1	图形符号和文字符号	(128)
9.5.2	绘制电气控制线路原理图的原则	(129)
案例 10	消防栓用消防泵一用一备的电气控制	(130)
10.1	消防栓用消防泵	(130)
10.1.1	消防栓灭火系统简介	(130)
10.1.2	消防栓用消防水泵的控制要求	(130)
10.2	万能转换开关	(131)
10.2.1	万能转换开关的作用和结构	(131)
10.2.2	万能转换开关的符号表示	(132)
10.3	水位开关	(132)
10.3.1	浮球磁性开关	(132)
10.3.2	浮子式磁性开关	(132)
10.3.3	电极式水位开关	(133)
10.3.4	晶体管液位继电器	(133)
10.4	电磁继电器	(134)
10.4.1	电磁继电器的结构与工作原理	(134)
10.4.2	中间继电器	(135)
10.4.3	时间继电器	(135)
10.5	消防栓用消防泵一用一备的电气控制电路	(138)
10.5.1	电动机配置情况及其控制	(138)
10.5.2	主要电气元件的作用	(139)
10.5.3	线路工作原理分析	(141)
10.6	识读复杂电气图的步骤和方法	(144)
10.6.1	看电气图的一般步骤	(144)
10.6.2	看电气控制电路图的方法	(144)
案例 11	消防栓用消防泵一用一备降压启动控制	(147)
11.1	三相异步电动机的启动方法	(147)
11.1.1	笼形异步电动机直接启动	(147)
11.1.2	笼形异步电动机降压启动	(147)
11.2	降压启动控制电路	(149)
11.2.1	定子电路串电阻降压启动	(149)
11.2.2	Y— Δ 降压启动控制电路	(150)
11.2.3	自耦变压器降压启动控制电路	(151)
11.3	消防栓用消防泵一用一备星形—三角形降压启动控制电路	(152)

11.3.1	消火栓用消防泵启动前送电操作顺序	(153)
11.3.2	公用电源继电器送电操作顺序	(155)
11.3.3	手动启停消防泵工作原理	(155)
11.3.4	消火栓消防泵自动启停工作原理	(157)
11.3.5	自动启停指令与故障信号报警分析	(159)
11.4	互为备用的消火栓用消防泵自耦降压启动控制电路	(162)
11.4.1	消火栓用消防泵启动前送电操作顺序	(163)
11.4.2	公用电源继电器送电操作顺序	(165)
11.4.3	手动启停消防泵工作原理	(166)
11.4.4	自动启停消防泵工作原理	(167)
11.4.5	两台泵相互备用自投电路工作原理	(169)
11.4.6	故障信号报警分析	(171)
11.4.7	消防中心启动两台消防泵电路工作原理	(172)
11.4.8	两台消防泵的应急启动电路工作原理	(174)
案例 12	防火卷帘门的电气控制	(176)
12.1	防火卷帘门的基本特性	(176)
12.1.1	防火卷帘门的作用与控制方式	(176)
12.1.2	防火卷帘门的设置	(177)
12.1.3	防火卷帘门的动作信号	(177)
12.1.4	防火卷帘门的构造和分类	(178)
12.2	防火卷帘门的电气控制电路说明与电路分析	(179)
12.2.1	电动机配置情况及其控制	(180)
12.2.2	线路工作原理分析	(180)
12.3	火灾探测器	(181)
12.3.1	探测器的种类	(182)
12.3.2	常用的火灾探测器基本原理	(182)
12.3.3	火灾探测器的选择	(183)
12.4	防火卷帘门的控制及感应系统	(184)
12.4.1	火灾自动报警系统	(184)
12.4.2	消防联动控制系统	(186)
12.5	防火卷帘的注意事项	(186)
案例 13	1000MW 汽轮发电机转子绕组短路故障诊断与分析	(187)
13.1	发电机工作原理及组成	(187)
13.1.1	发电机工作原理	(187)
13.1.2	转子电路	(189)
13.2	转子绕组短路故障诊断与分析	(189)
13.3	发电机的保护	(190)
13.3.1	发电机保护措施	(190)
13.3.2	熔断器与断路器	(191)
13.4	短路电流计算	(191)
13.5	短路故障的危害	(194)

13.6 电力系统及其组成	(195)
13.6.1 发电	(195)
13.6.2 输电	(196)
13.6.3 配电	(196)
案例 14 消防工程中漏电火灾报警系统	(198)
14.1 漏电及其检测	(198)
14.2 漏电火灾分析	(198)
14.3 电流对人体的伤害	(199)
14.4 触电形式	(199)
14.4.1 直接接触	(199)
14.4.2 间接接触	(200)
14.4.3 其他类型的触电	(200)
14.5 触电急救	(201)
14.6 漏电保护	(201)
14.6.1 漏电火灾报警系统	(201)
14.6.2 漏电火灾报警系统工作原理	(202)
14.6.3 漏电火灾报警器的施工	(203)
14.7 不同种类的报警系统	(206)
案例 15 高压输电线路的接地装置	(207)
15.1 接地的相关概念	(207)
15.1.1 常见低压配电系统中的接地	(208)
15.1.2 重复接地系统	(210)
15.1.3 等电位联结	(210)
15.2 接地电路的相关计算	(210)
15.2.1 单相触电电流	(210)
15.2.2 TT 系统保护接地电流	(210)
15.2.3 重复接地触电电压	(211)
15.3 常用高压接地装置	(211)
15.3.1 接地装置	(211)
15.3.2 不同方式的接地	(212)
15.3.3 接地装置的防腐措施	(213)
15.3.4 发电厂、变电站的接地装置	(214)
案例 16 多层住宅的建筑防雷	(216)
16.1 雷电及其危害	(216)
16.2 防雷等级	(217)
16.3 防雷装置	(218)
16.3.1 接闪器	(218)
16.3.2 引下线	(220)
16.3.3 接地装置	(221)
16.4 防雷措施	(221)
16.4.1 建筑物的防雷措施	(221)

16.4.2	架空线路的防雷措施	(222)
16.4.3	变、配电所防雷措施	(222)
16.5	建筑物年预计雷击次数	(223)
16.6	本案例建筑防雷设计	(224)
16.7	人身防雷知识	(224)
案例 17	压油泵软启动过载原因分析	(226)
17.1	压油泵工作原理	(226)
17.2	启动过载原因	(226)
17.3	电动机的启动方式	(227)
17.4	本案例过载分析	(229)
17.5	电动机的种类及其特点	(229)
案例 18	照明线路及其故障检修	(231)
18.1	常用电光源及其选用	(232)
18.1.1	常用电光源	(232)
18.1.2	常用电光源的特性与选用	(233)
18.2	照明配电系统	(235)
18.2.1	常用配电方式	(235)
18.2.2	典型配电系统	(236)
18.3	照明电路的检修	(237)
18.3.1	检查故障的方法	(237)
18.3.2	照明电路故障检修	(238)
18.4	案例分析	(239)
18.5	拓展知识: 智能照明	(240)
18.5.1	智能照明技术的基本概念	(240)
18.5.2	智能照明系统的组成	(240)
18.5.3	智能照明系统的控制方式	(242)
18.5.4	智能照明控制系统的选用	(242)
案例 19	照明灯具及其故障检修	(245)
19.1	照明灯具及其特性	(245)
19.1.1	灯具的作用	(245)
19.1.2	灯具的光学特性	(246)
19.1.3	灯具的分类	(247)
19.1.4	灯具的选择	(249)
19.1.5	灯具的布置	(249)
19.2	电气照明灯具故障检修	(250)
19.2.1	白炽灯故障检修	(250)
19.2.2	荧光灯故障检修	(251)
19.2.3	碘钨灯故障检修	(253)
19.2.4	高压钠灯故障检修	(253)
19.2.5	高压水银灯故障检修	(254)
19.2.6	金属卤化物灯故障检修	(254)

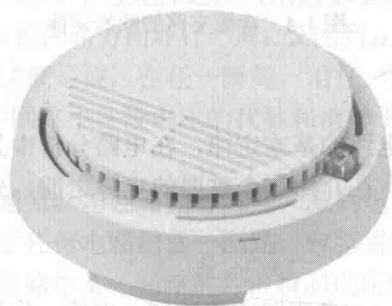
19.3 案例分析	(255)
19.4 拓展知识: 电气照明火灾事故原因分析	(255)
19.4.1 电气照明灯具火灾事故的原因	(255)
19.4.2 电气照明供电线路火灾产生原因	(257)
案例 20 建筑照明质量与照度计算	(259)
20.1 光的基本概念与物理量	(259)
20.1.1 光的基本概念	(259)
20.1.2 光学的基本物理量	(259)
20.1.3 光源的主要特性	(260)
20.2 照明质量	(261)
20.2.1 照度水平的确定	(261)
20.2.2 照度的均匀度	(262)
20.2.3 亮度的均匀性	(263)
20.2.4 光源颜色	(263)
20.2.5 维护系数	(264)
20.2.6 眩光的限制与利用	(264)
20.2.7 造型立体感	(265)
20.3 照度计算	(265)
20.3.1 单位容量法	(265)
20.3.2 利用系数法	(266)
20.4 案例分析	(270)
20.5 拓展知识: 绿色照明	(271)
20.5.1 绿色照明的基本概念	(271)
20.5.2 绿色照明产品的特点	(271)
20.5.3 实施绿色照明的方法与对策	(271)
参考文献	(274)

案例 烟雾报警器实用电路

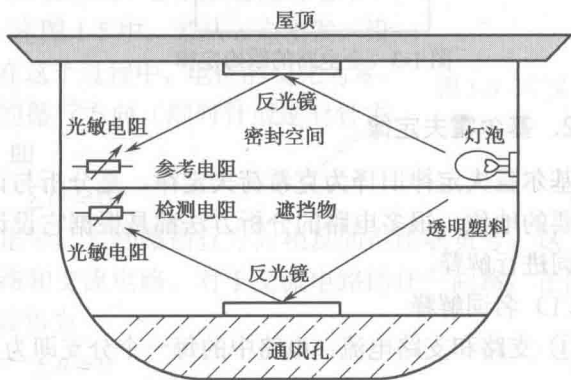
随着现代家庭用火、用电量的增加，家庭火灾发生的频率越来越高。家庭火灾一旦发生，很容易出现扑救不及时、灭火器材缺乏及在场人惊慌失措、逃生迟缓等不利因素，最终导致重大生命财产损失。及时发现火灾并报警可以减少事故发生，减少事故带来的生命威胁和经济损失。

火灾报警器的原理有多种，但每一种原理的报警器都有一定的使用环境限制。例如，基于红外线检测的报警器，只有在燃烧体的温度已经明显升高且距离燃烧体较近时才能报警；基于空气中化学成分检测的报警器，它只对某种特定的燃烧物起到报警作用，对其他物质燃烧毫无报警用途。

如图 1-1 所示是基于光学原理和光电原理的光电型烟雾报警器的外形和结构示意图。吸烟或某种物质燃烧会导致空气中的烟雾浓度升高，当烟雾浓度超标时报警器就会自动发出声光报警信号。



(a) 外形



(b) 结构示意图

图 1-1 光电烟雾报警器的外形和结构示意图

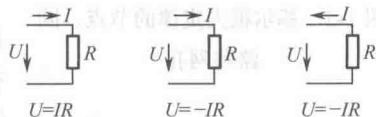
1.1 直流电路

1.1.1 电路的基本定律

电路也称作网络，它是电流的通路，是由一些电路元件和设备组成，能够实现能量的传输和转换，或者实现信号的传递和处理的功能的总体。

1. 欧姆定律

“源”是指电源，如图 1-2 所示，在不含电源的电阻支路中，流过电阻的电流与电阻两端的电压成正比，这是欧姆定律最简单的形式。



(a) 符号为正 (b) 符号为负 (c) 符号为负

图 1-2 无源支路的欧姆定律

根据电路图所选的电压和电流的正方向不同，欧姆定律的表达式中的正负号不同，当二者的正方向一致时，表达式中的符号为正值，如图 1-2 (a)

所示；当二者的正方向相反时，表达式中的符号为负值，如图 1-2（b）、图 1-2（c）所示。但是请注意，无论电压和电流的正方向是一致的还是相反的，最终的结果是唯一的，即所得到的电压或电流是相同的。这就是前面介绍过的正方向的概念。

图 1-3 所示是手电筒的电路模型，电源和负载通过中间环节组成了一个全电路，则

$$I = \frac{U_s}{R_0 + R} \tag{1-1}$$

图 1-4 所示是一个含有电源的支路，也可以根据欧姆定律列出方程，首先应在图中标明电压和电流的正方向，则

$$\begin{aligned} U_{ab} &= IR + U_s \\ I &= \frac{U_{ab} - U_s}{R} \end{aligned} \tag{1-2}$$

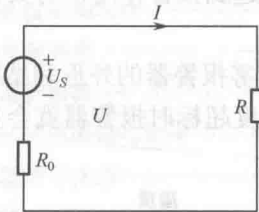


图 1-3 全电路的欧姆定律

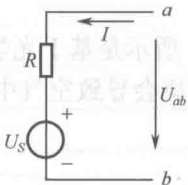


图 1-4 含源支路的欧姆定律

2. 基尔霍夫定律

基尔霍夫定律旧译为克希荷夫定律，是分析与计算电路的基本定律，在电路分析中具有重要的地位，很多电路的分析方法都是根据它设计的。在介绍这个重要的定律之前，先对一些名词进行解释。

（1）名词解释

- ① 支路和支路电流：电路中的每一个分支即为支路，一条支路中流过同一电流，称为支路电流。
- ② 节点：电路中汇聚 3 条或 3 条以上支路的点称为节点。
- ③ 回路：电路中的任意闭合路径。电路中的单孔回路称为网孔。

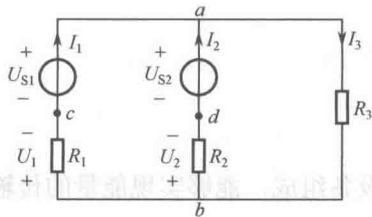


图 1-5 基尔霍夫定律的节点、回路和网孔

根据以上定义，在图 1-5 中，共有 3 条支路， I_1 、 I_2 、 I_3 为支路电流；节点数为两个，分别是 a 点和 b 点；并有 3 个回路，分别是 $adbca$ 、 $abca$ 和 $abda$ ，其中 $adbca$ 和 $abda$ 是网孔。

基尔霍夫定律又分为基尔霍夫电流定律和基尔霍夫电压定律，下面分别加以介绍。

（2）基尔霍夫电流定律（KCL，Kirchhoff's Current Law）

基尔霍夫电流定律又称节点电流定律，顾名思义，它主要是说明电路中任一节点上的电流关系的基本规律。由于电流具有连续性，流入任意节点的电流之和必定等于流出该节点的电流之和。

例如，对于如图 1-5 所示电路的节点 a ，可以列出电流方程式

$$I_1 + I_2 = I_3$$

或

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

即

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

式 (1-3) 说明, 在任一瞬间, 任一节点上的电流的代数和恒等于零。因为电流就像生活中源源不断的水流一样, 不会停留在任一点上。也就是说, 电路中的任何一点上都不会堆积电荷, 这一点很容易理解。这一规律不仅适用于直流电流, 也适用于交流电流, 即在任一瞬间汇交于某一节点的交流电流的代数和恒等于零。用公式表示为

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

为了便于记忆, 一般规定流入节点的电流为正、流出节点的电流为负。

基尔霍夫电流定律是分析电路的得力武器, 它不仅适用于电路中的任一节点, 还可以推广应用于广义节点。所谓广义节点就是电路中的任意假设闭合面。

例如, 在如图 1-6 所示的晶体管中, 点画线包围的假设闭合面就是一个广义节点, 三个电极的电流之和等于零, 即

$$I_C + I_B - I_E = 0$$

(3) 基尔霍夫电压定律 (KVL, Kirchhoff's Voltage Law)

基尔霍夫电压定律又称回路电压定律, 顾名思义, 它主要是说明电路中任一回路中各段电压之间关系的基本规律。在图 1-5 中, 若从 a 点出发, 沿 $adbca$ 的回路方向环行一周, 又回到 a 点, 在这个过程中, 电位的变化为零。

这就是说, 在任一瞬间, 沿任一回路的循行方向 (顺时针或逆时针方向), 回路中各段电压的代数和恒等于零。即

$$\sum U = 0 \quad (1-5)$$

通常, 与回路循行方向一致的电压取正号, 与回路循行方向相反的电压取负号。这一结论适用于任何电路的任一回路, 包括直流电路和交流电路。对于交流电路的任一回路, 在同一瞬间, 电路中某一回路的各段瞬间电压的代数和为

$$\sum u = 0 \quad (1-6)$$

基尔霍夫电压定律不仅适用于电路中的任一闭合的回路, 还可以推广到开口电路, 只要任一开口电路中找到一个闭合的电压回路, 即可应用基尔霍夫电压定律列出回路电压方程。

图 1-7 是一个开口电路, 但是按照所选的回路方向, 可以找到一个闭合的电压回路, 因此可以根据 KVL 列出回路电压方程式

$$U_{ab} + IR - U_s = 0$$

或

$$U_{ab} = U_s - IR$$

可以发现, 此式与用欧姆定律所列的式子一致。

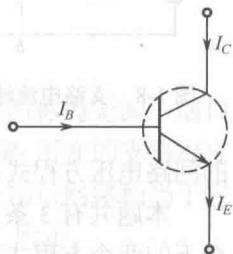


图 1-6 广义节点

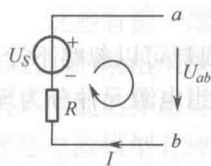


图 1-7 KVL 推广到开口电路

1.1.2 电路的分析方法

1. 支路电流法

在学习电工学以前, 读者已经能够利用电阻的串并联关系, 根据欧姆定律求解简单的电路。对于那些不能用电阻的串并联关系等效化简的电路, 称之为复杂电路, 以下介绍几种复杂电路的分析方法。

支路电流法是求解复杂电路最根本的方法,它的求解对象是支路电流。大家知道,可以通过列方程组求解一组未知数,根据线性代数的知识,有 n 个线性无关的方程组,就可以对应 n 个唯一解。在电路中,若有 n 条支路,必定有 n 个支路电流,要想求这 n 个未知数,就应有 n 个线性无关的线性方程,这就是支路电流法的基本思路,列写线性方程组的有力武器就是基尔霍夫定律。现以如图 1-8 所示的电路为例,介绍支路电流法解题的一般步骤。

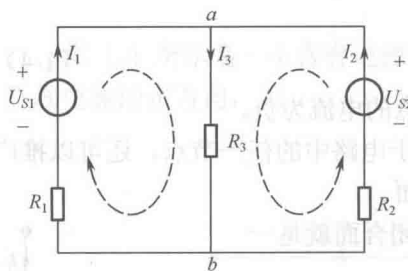


图 1-8 支路电流法解题步骤举例

(1) 确定支路数,并规定各支路电流的正方向。

图 1-8 所示电路中有 3 条支路,即有 3 个待求的支路电流,也就是说需要列写 3 个独立的方程式。

(2) 确定节点数,并根据 KCL 列出 (节点数-1) 个独立的节点电流方程式。

图 1-8 所示电路中有 a 、 b 两个节点,只能列出 1 个独立的节点电流方程式

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

(3) 确定余下所需的方程式数,再根据 KVL 列出独立的

回路电压方程式。

本题共有 3 条支路,也就是有 3 个未知的支路电流,已列出了 1 个独立的节点电流方程式,余下的两个方程式可用 KVL 列出。

图 1-8 所示电路中共有 3 个回路,可以从中任选出两个来列写回路方程,但应注意为使所列出的回路方程一定是独立的,应使每次所选的回路至少包含一条前面未曾用过的新支路。通常,选用网孔所列的回路方程式必定是独立的。

在图 1-8 所示的电路中,选择两个网孔来列写回路方程。

左网孔: $R_1 I_1 + R_3 I_3 = U_{S1}$ 。

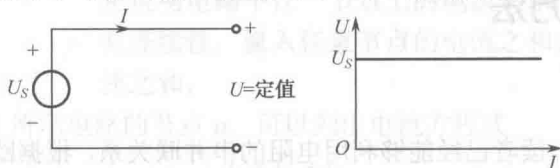
右网孔: $R_2 I_2 + R_3 I_3 = U_{S2}$ 。

(4) 求解联立的方程组,解出各支路电流。

2. 理想电源模型及等效电源定理

理想电源元件是从实际电源元件中抽象出来的。当实际电源本身的功率损耗可以忽略不计,而只起产生电能的作用时,这种电源便可以用一个理想电源元件来表示。理想电源元件分为理想电压源和理想电流源两种。

理想电压源简称恒压源,符号如图 1-9 (a) 所示,它的输出电压与输出电流之间的关系如图 1-9 (b) 所示,称为伏安特性曲线。理想电压源的特点是:输出电压 U 是由它本身确定的定值,与输出电流和外电路的情况无关,而输出电流 I 不是定值,由外电路的情况决定。例如,空载时,输出电流 $I=0$;短路时, $I \rightarrow \infty$;输出端接有电阻 R 时, $I=U/R$,电压 U 是定值,始终保持不变,而电流 I 由电阻 R 的大小决定。因此,凡是与理想电压源并联的元件(包括下面即将叙述的理想电流源在内),其两端的电压都等于理想电压源的电压。



(a) 图形符号

(b) 伏安特性曲线

图 1-9 理想电压源

理想电流源简称恒流源，图形符号如图 1-10 (a) 所示，图 1-10 (b) 所示是它的伏安特性曲线。理想电流源的特点是：输出电流 I 是由它本身所确定的定值，与输出电压和外电路的情况无关，而输出电压 U 不是定值，与外电路的情况有关。例如，短路时，输出电压 $U=0$ ；空载时， $U \rightarrow \infty$ ；输出端接有电阻 R 时， $U=IR$ ，电流 I 是定值，始终保持不变，而电压 U 由电阻 R 的大小决定。因此，凡是与理想电流源串联的元件（包括理想电压源在内），其电流都等于理想电流源的电流。

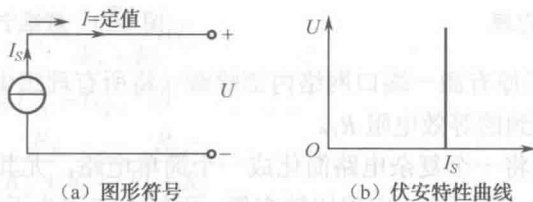


图 1-10 理想电流源

凡是只有一个输入或输出端口的电路都称为一端口网络。内部不含电源的称为无源一端口网络，含有电源的称为有源一端口网络。如图 1-11 (a) 所示的电路，若将 R_2 所在的支路提出来，剩下点画线方框内的部分就是一个有源一端口网络。对 R_2 而言，有源一端口网络相当于它的电源。任何实际的电源，如电池都是一个有源一端口网络，如图 1-11 (b) 所示。

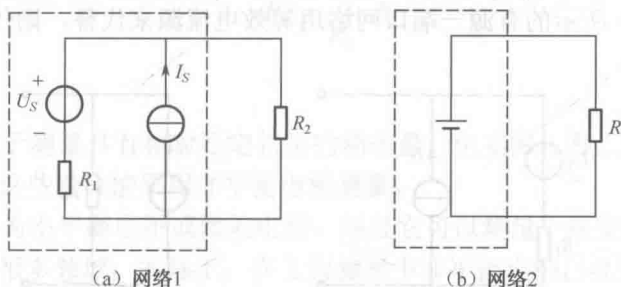


图 1-11 有源一端口网络

这些有源一端口网络不仅产生电能，本身还消耗电能。在对外部电路等效的条件下，即保持它们的输出电压和电流不变的条件下，它们产生电能的作用可以用一个理想电源模型来表示，消耗电能的作用可以用一个理想电阻元件来表示，这就是等效电源定理所要叙述的内容。由于理想电源模型有理想电压源和理想电流源两种，因此，等效电源定理又分为戴维宁定理和诺顿定理。

(1) 戴维宁定理

对外部电路而言，任何一个线性有源一端口网络都可以用一个理想电压源与电阻串联的电路模型来代替，这个电路模型称为电压源模型，简称电压源。电压源中理想电压源的电压等于原有源一端口网络的开路电压；电压源的内阻 R_0 等于原有源一端口网络内部除源（将所有理想电压源短路、所有理想电流源开路）后，在端口处得到的等效电阻。这就是戴维宁定理。

现以如图 1-12 所示的有源一端口网络为例来说明戴维宁定理。代替前后的电路如图 1-13 所示。由于代替的条件是对外等效，因此在同一工作状态下，它们输出的电压和电流应该相同。

输出端开路时，两者的开路电压 U_{oc} 应该相等，由图 1-13 (b) 可知， $E=U_{oc}$ ，即等效电压源中的理想电压源的电动势 E 等于原有源一端口网络的开路电压 U_{oc} 。对于图 1-13 (a) 来讲，可得

$$U_{oc} = R_1 I_s + U_s$$