



普通高等教育“十三五”规划教材
PUTONGGAODENGJIAOYU “SHISANWU” GUIHUAJIAOCAI

电工电子技术

主编 黄睿 张皓博

DIANGONG
DIANZI JISHU



中国传媒大学出版社

“十三五”规划教材
“SHISANWU”GUIHUAJIAOCAI

电工电子技术

主 编 黄 睿 张皓博

副主编 张 宁 汤泰青 黄 泽

DIANGONG
DIANZI JISHU

中国传媒大学出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

电工电子技术 / 黄睿 主编; 张皓博 主编. —北京: 中国传媒大学出版社, 2017. 12
ISBN 978-7-5657-2191-5

I. ①电… II. ①黄… ②张… III. ①电工技术②电子技术 IV. ①TM②TN
中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 001005 号

电工电子技术

DIANGONG DIANZI JISHU

主 编: 黄 睿 张皓博

责任编辑: 李 莉 黄珊珊

责任印制: 曹 辉

封面设计: 雨 & 寒

出 版 人: 刘大年

出版发行: 中国传媒大学 出版社

社 址: 北京市朝阳区定福庄东街1号

邮编: 100024

电 话: 65450532 或 65450528

传真: 010-65779405

网 址: <http://www.cucp.com.cn>

经 销: 全国新华书店

印 刷: 廊坊市广阳区九洲印刷厂

成品尺寸: 185 mm×260 mm

开 本: 787 mm×1092 mm 1/16

印 张: 18.5

字 数: 462 千字

版 次: 2018 年 4 月第 1 版 2018 年 4 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5657-2191-5/TN · 2191

定价: 45.00 元

版权所有

翻印必究

印装错误

负责调换

前 言

电工电子技术是一门发展快速、应用广泛、实践性强的重要课程，在高校各个涉及电子专业的人才培养方案中都占有重要地位。

本教材可以作为高等学校本科非电类各专业的“电工电子技术”及“电工学”课程教材，也可以作为高等职业教育、高等专科学校、成人高等教育和网络教育等同类专业的教材，还可以作为工程技术人员的自学参考教材。

本教材分为两部分：一是电工部分，重点讲解了电路的基本概念以及分析方法，主要包括：电路的基本定律与分析方法、正弦交流电路、电路的过渡过程、电磁器和变压器、电动机及拖动系统分析、可编程序控制器；二是电子部分，重点讲解了放大电路和集成电路的分析，主要包括：半导体器件、基本放大电路、集成运算放大电路、直流稳压电路、数字电子技术基础、门电路和组合逻辑电路、时序逻辑电路、脉冲的产生和变换电路、D/A和A/D转换电路。每章都配有习题及答案详解，方便自学检测。

为突出应用型教材特色，保证良好的教学效果，本书提供了较丰富和全面的学习资料（包括各类型习题和相应参考答案），致力于培养学生对教材知识点的全面掌握以及提高对电工电子技术的认知能力和业务处理能力，为广大读者的学习和研究提供服务。

本教材由黄睿、张皓博担任主编，张宁、汤泰青、黄泽担任副主编。参加本书编写的有（以姓氏笔画为序）：汤泰青、张宁、张皓博、黄泽、黄睿。全书由黄睿负责统稿。

由于编者水平有限，书中难免会有疏漏和错误之处，殷切希望使用本教材的广大师生和读者批评指正，我们会尽快改进完善。

目 录

第1章 电路的基本定律与分析方法..... (1)

教学目标 (1)

1.1 电路及电路模型 (1)

1.1.1 电路与电路模型 (1)

1.1.2 电源的两种模型 (2)

1.2 电路的基本物理量及
电气设备的额定值 (4)

1.2.1 电路基本物理量 (4)

1.2.2 电气设备的额定值 (9)

1.2.3 电路的三种工作状态 (9)

1.3 基尔霍夫定律 (12)

1.3.1 基尔霍夫电流定律 (12)

1.3.2 基尔霍夫电压定律 (13)

1.4 电路分析方法 (14)

1.4.1 支路电流法 (14)

1.4.2 叠加原理 (15)

1.4.3 节点电压法 (17)

1.4.4 戴维南定理 (18)

本章小结 (20)

习题 (21)

第2章 正弦交流电路 (29)

教学目标 (29)

2.1 正弦交流电的基本概念 (29)

2.1.1 正弦交流电的表示方法 (29)

2.1.2 正弦交流电的相位差、
有效值 (31)

2.2 正弦交流电的相量表示法 (33)

2.2.1 复数及其运算 (34)

2.2.2 相量表示法 (35)

2.2.3 单一参数的正弦交流电路 (37)

2.3 RLC 串联电路 (43)

2.3.1 电压和电流的关系 (43)

2.3.2 功率 (45)

2.3.3 串联谐振 (46)

2.4 RLC 并联电路 (48)

2.4.1 电压和电流的关系 (48)

2.4.2 并联谐振 (49)

2.4.3 功率因数的提高 (50)

2.5 三相交流电路 (52)

2.5.1 对称三相电源 (53)

2.5.2 负载的星形连接 (56)

2.5.3 负载的三角形连接 (58)

2.5.4 三相功率 (59)

本章小结 (60)

习题 (61)

第3章 电路的过渡过程 (67)

教学目标 (67)

3.1 电路的过渡过程及换路定律 (67)

3.1.1 电路的暂态 (67)

3.1.2 换路定律 (68)

3.2 RC 电路的过渡过程及三要素法 (69)

3.2.1 一阶电路的三要素法 (69)

3.2.2 RC 串联电路的零状态响应 (71)

3.2.3 RC 串联电路的零输入响应 (72)

3.2.4 RC 电路的时间常数 (73)

3.3 微分电路和积分电路 (74)

3.3.1 微分电路 (74)

3.3.2 积分电路 (75)

3.4 RL 电路的过渡过程 (76)

3.4.1 RL 电路的零状态响应 (76)

3.4.2 RL 电路的零输入响应 (78)

3.4.3 电感电路突然断开、
过电压的产生及防止 (79)

本章小结 (80)

习题 (80)

第4章 电磁器和变压器 (84)

教学目标 (84)

4.1 磁路 (84)

4.1.1 有关磁场的几个物理量 (84)

4.1.2 铁磁性材料的主要性能 (85)

4.1.3 磁路常用定律	(86)	5.5.4 行程开关	(113)
4.2 接触器	(87)	5.5.5 继电器类	(114)
4.2.1 接触器	(87)	5.6 三相异步电动机的	
4.2.2 交流接触器	(87)	基本控制系统	(117)
4.3 变压器的工作原理与分类	(89)	5.6.1 点动控制	(118)
4.3.1 变压器的基本工作原理	(89)	5.6.2 连续运行控制	(118)
4.3.2 变压器的分类	(90)	5.6.3 点动和长动结合的控制	(120)
4.3.3 变压器的结构	(90)	5.6.4 正、反转互锁控制线路	(120)
4.3.4 变压器运行	(90)	5.6.5 位置控制线路	(122)
4.4 三相变压器	(92)	5.6.6 Y-Δ 减压启动控制线路	(122)
4.4.1 磁路系统	(92)	本章小结	(123)
4.4.2 电路系统	(92)	习题	(124)
本章小结	(94)	第6章 可编程序控制器	(126)
习题	(95)	教学目标	(126)
第5章 电动机及拖动系统分析	(97)	6.1 PLC 的基本结构及工作原理	(126)
教学目标	(97)	6.1.1 PLC 的基本结构	(126)
5.1 直流电动机	(97)	6.1.2 PLC 的工作原理	(127)
5.1.1 直流电机的工作原理	(97)	6.2 CPM2A 系列 PLC 的功能	
5.1.2 直流电机的主要结构	(98)	与数据区	(128)
5.1.3 直流电机的铭牌数据		6.2.1 CPM2A 系列 PLC 的数据区	(128)
及主要系列	(98)	6.2.2 CPM2A 系列 PLC 功能	(129)
5.1.4 电枢电动势和电磁转矩	(99)	6.3 CPM2A 系列 PLC 的基本指令	(130)
5.1.5 直流发电机	(99)	6.3.1 指令概述	(130)
5.1.6 直流电动机	(100)	6.3.2 基本指令	(131)
5.2 直流电动机的电力拖动	(100)	6.3.3 块与指令 AND LD 和块或	
5.2.1 电力拖动系统的		指令 OR LD	(132)
运动方程式	(100)	6.3.4 置位指令 SET 和	
5.2.2 他励直流电动机的启动	(101)	复位指令 RESET	(133)
5.2.3 他励直流电动机的制动	(101)	6.3.5 锁存继电器 KEEP 指令	(133)
5.2.4 他励直流电动机的调速	(102)	6.3.6 微分指令 DIFU 和 DIFD	(133)
5.3 三相异步电动机的基本结构		6.3.7 基本编程规则和	
和工作原理	(103)	基本编程方法	(134)
5.3.1 三相异步电动机的构造	(103)	6.4 CPM2A 系列 PLC 的常用	
5.3.2 三相异步电动机的		的应用指令	(134)
工作原理	(104)	6.4.1 分支和分支结束	
5.4 三相异步电动机的定子电路		指令 IL/ILC	(134)
和转子电路	(106)	6.4.2 暂存继电器 TR	(135)
5.4.1 定子电路分析	(106)	6.4.3 跳转和跳转结束	
5.4.2 转子电路分析	(107)	指令 JMP/JME	(135)
5.5 常用低压电器与电气符号	(108)	6.4.4 定时器/计数器	
5.5.1 开关电器	(108)	指令 TIM/CNT	(136)
5.5.2 熔断器	(111)	本章小结	(137)
5.5.3 控制按钮	(112)	习题	(137)

第7章 半导体器件	(139)	习题	(171)
教学目标	(139)	第9章 集成运算放大电路	(178)
7.1 半导体材料的基础知识	(139)	教学目标	(178)
7.1.1 本征半导体	(139)	9.1 集成运算放大器概述	(178)
7.1.2 杂质半导体	(140)	9.1.1 集成运算放大器的特点	(178)
7.2 PN结	(141)	9.1.2 集成运算放大器的 基本组成	(178)
7.3 二极管	(142)	9.2 集成运放输入级 ——差分放大电路	(179)
7.4 晶体管	(145)	9.2.1 零点漂移产生原因及 其抑制方法	(179)
7.4.1 晶体管的结构	(145)	9.2.2 差分放大电路的工作原理	(179)
7.4.2 晶体管的电流放大作用	(145)	9.2.3 差分放大器的差模放大作用和 共模抑制作用	(180)
7.4.3 晶体管的特性曲线	(146)	9.3 集成运算放大器	(181)
7.4.4 晶体管的主要参数	(147)	9.3.1 集成运算放大器的 主要性能指标	(181)
7.5 结型场效应晶体管	(148)	9.3.2 理想运算放大器	(182)
7.5.1 结型场效应晶体管的结构和 工作原理	(148)	9.4 集成运算放大器的线性 应用电路	(184)
7.5.2 结型场效应晶体管的 特性曲线	(149)	9.4.1 比例运算电路	(185)
7.6 绝缘栅场效应晶体管	(151)	9.4.2 加法、减法运算电路	(186)
7.6.1 N沟道增强型绝缘栅场 效应晶体管	(151)	9.4.3 积分、微分运算电路	(187)
7.6.2 N沟道耗尽型绝缘栅场 效应晶体管	(153)	9.5 正弦波振荡电路	(188)
本章小结	(154)	9.5.1 正弦波振荡器的基本概念	(189)
习题	(154)	9.5.2 RC振荡器	(191)
第8章 基本放大电路	(158)	9.5.3 LC正弦波振荡电路	(192)
教学目标	(158)	本章小结	(193)
8.1 基本放大电路的组成	(158)	习题	(193)
8.2 静态分析	(159)	第10章 直流稳压电路	(198)
8.2.1 估算法	(160)	教学目标	(198)
8.2.2 图解法	(160)	10.1 整流电路	(198)
8.3 动态分析	(162)	10.1.1 单相半波整流电路	(198)
8.4 分压式偏置电路	(163)	10.1.2 单相全波整流电路	(199)
8.5 其他放大电路	(165)	10.1.3 单相桥式整流电路	(200)
8.5.1 共集电极放大电路	(165)	10.2 滤波电路	(202)
8.5.2 共基极放大电路	(166)	10.3 稳压电路	(205)
8.5.3 三种基本放大电路的比较	(167)	10.3.1 稳压管和稳压电路	(205)
8.6 多级放大电路	(167)	10.3.2 串联直流稳压电路	(206)
8.6.1 直接耦合多级放大电路	(167)	本章小结	(207)
8.6.2 阻容耦合多级放大电路	(168)	习题	(208)
8.7 功率放大电路	(168)		
8.7.1 功率放大电路概述	(168)		
8.7.2 互补对称功率放大电路	(169)		
本章小结	(171)		

第 11 章 数字电子技术基础	(209)	13.1.2 主从型 JK 触发器	(253)
教学目标.....	(209)	13.1.3 D 触发器	(255)
11.1 模拟信号与数字信号概述	(209)	13.2 寄存器	(256)
11.1.1 模拟信号与数字信号	(209)	13.2.1 数码寄存器	(256)
11.1.2 数字电路	(209)	13.2.2 移位寄存器	(257)
11.2 数制及其转换	(210)	13.3 计数器	(260)
11.2.1 十进制	(210)	13.3.1 二进制计数器	(260)
11.2.2 二进制	(211)	13.3.2 非二进制计数器	(263)
11.2.3 任意进制的一般规律	(211)	本章小结	(265)
11.2.4 数制之间的转换	(211)	习题	(266)
11.3 逻辑代数基础	(213)	第 14 章 脉冲的产生和变换电路	(268)
11.3.1 基本逻辑与复合逻辑	(213)	教学目标.....	(268)
11.3.2 逻辑函数的表示	(216)	14.1 脉冲概述	(268)
11.3.3 逻辑代数的基本定律	(220)	14.1.1 555 定时电路	(268)
11.4 逻辑函数化简	(223)	14.1.2 CC7555 定时器的引脚和逻辑功能	(269)
11.4.1 逻辑函数最简的标准	(223)	14.2 单稳态触发器	(270)
11.4.2 逻辑函数的代数化简法	(223)	14.2.1 单稳态触发电路简介	(270)
11.4.3 逻辑函数的卡诺图化简法	(224)	14.2.2 用 CC7555 定时器构成单稳态触发器	(270)
本章小结	(227)	14.3 施密特触发器	(271)
习题	(228)	14.3.1 施密特触发电路简介	(271)
第 12 章 门电路和组合逻辑电路	(231)	14.3.2 用 CC7555 定时器构成施密特触发器	(272)
教学目标.....	(231)	14.3.3 施密特触发器的主要作用	(273)
12.1 分立元件门电路	(231)	本章小结	(274)
12.1.1 与门	(231)	习题	(275)
12.1.2 或门	(232)	第 15 章 D/A 和 A/D 转换电路	(277)
12.1.3 非门	(233)	教学目标.....	(277)
12.2 组合逻辑电路的分析与设计	(233)	15.1 D/A 和 A/D 转换电路概述	(277)
12.2.1 组合逻辑电路的分析	(234)	15.2 D/A 转换器	(278)
12.2.2 组合逻辑电路的设计	(236)	15.2.1 权电阻网络的 D/A 转换器	(279)
12.3 基本组合逻辑部件	(238)	15.2.2 T 行电阻网络 D/A 转换器	(280)
12.3.1 编码器	(238)	15.3 A/D 转换器	(282)
12.3.2 译码器与译码显示电路	(241)	15.3.1 模/数转换的一般步骤和取样定理	(282)
12.3.3 加法器	(244)	15.3.2 并行比较型模/数转换器	(283)
12.3.4 数据选择器和数值比较器	(245)	本章小结	(285)
本章小结	(247)	习题	(285)
习题	(247)	参考文献	(288)
第 13 章 时序逻辑电路	(251)		
教学目标.....	(251)		
13.1 触发器	(251)		
13.1.1 RS 触发器	(252)		

第 1 章 电路的基本定律与分析方法

教学目标:

- (1) 了解电路的作用和组成。
- (2) 了解电路的通路、开路和短路状态; 了解电源的有载、空载和短路状态; 理解额定值、负载大小和电功率平衡的概念。
- (3) 了解电路中的参考点的意义, 掌握电位的计算。
- (4) 理解参考方向和关联参考方向的意义。
- (5) 了解电路模型的概念; 理解理想电阻元件的耗能特性、理想电压源的恒压特性和理想电流源的恒流特性。
- (6) 理解电路的基尔霍夫定律。
- (7) 掌握用支路电流法、叠加原理、节点电压法和戴维南定理分析电路的方法。

1.1 电路及电路模型

1.1.1 电路与电路模型

电流的路径称为电路。实际电路是为实现某种应用目的, 由若干电工设备和电子器件按照一定的方式用导线连接而成的电流的通路。例如, 由于电池和小灯泡经过开关用两根导线连接起来, 就可组成一个照明电路。如图 1-1 (a) 所示为一个简单的实际电路, 干电池在电路中为小灯泡提供电能, 称为电源; 小灯泡将电能转换为光能、热能等非电能, 它是耗能设备, 称为负载; 导线和开关起传输和控制作用, 称为中间环节。在一般电路中, 中间环节还包括保障用电安全的保护电器和测量仪器等。

实际电路是由一些按需要起不同作用的实际电路元件或器件所构成, 如发电机、变压器、电动机、电池、晶体管以及各种电阻器和电容器等, 这些实际电路元件的电磁性质比较复杂。例如, 白炽灯在通常条件下, 它的主要作用是消耗电能呈现电阻特性, 但当通有电流时还会产生磁场, 又表现为电感特性。但电感微小, 可忽略不计, 故可认为白炽灯是一电阻元件。为了便于电路的分析和数学描述, 实际元件要理想化处理, 即在一定条件下突出元件的主要电磁性质, 忽略其次要因素。所以白炽灯、电感线圈、电容等均认为是理想元件。

由理想元件组成的电路即为实际电路的电路模型, 简称电路。电路图则是用规定的元件图形符号反映电路的结构。例如, 照明电路的模型可由图 1-1 (b) 所示的电路图表示。今后本书所涉及电路均指由理想电路元件构成的电路模型。同时将把理想电路元件简称为电路元件。

理想电路元件是电路中最基本的组成单元, 元件上电压与电流之间的关系又称为元件的伏安特性, 它反映了元件的性质。电路元件按能量特性, 可分为无源和有源元件; 按与外部

连接的端子数目,可分为二端(电阻、电感、电容)、三端(三极管)、四端元件(变压器)等;按伏安特性,可分为线性元件与非线性元件,按时间特性,可分为时不变和时变元件。

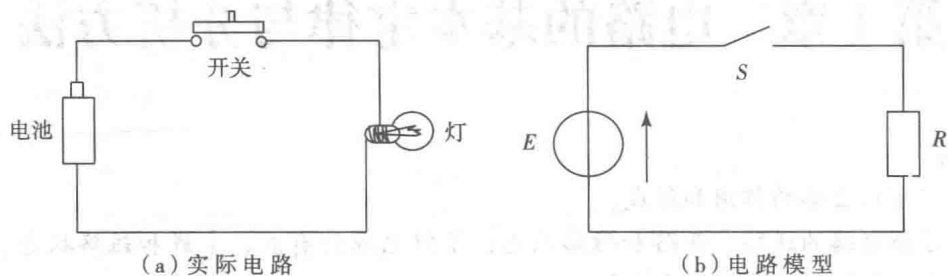


图 1-1 照明电路

下面我们讨论一下电阻、电感、电容等二端无源元件,有源元件将在 1.1.2 作详细介绍。

例如,电阻器、灯泡、电炉等,其主要电磁性能是消耗电能,可用二端线性电阻元件 R 作为其模型,表征电路中电能消耗的理想元件。类似地,理想电感元件表征电路中磁场能储存的理想元件。理想电容元件表征电路中电场能储存的理想元件。理想电路元件是实际元件抽象出来的理想化模型,它们有各自的精确定义和数学模型,可以特定的符号表示,其图形符号如图 1-2 所示。

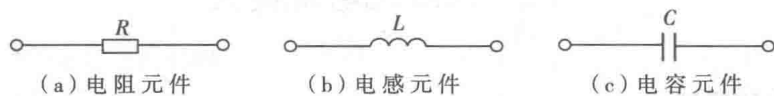


图 1-2 理想元件图形符号

1.1.2 电源的两种模型

实际电源有电池、发电机、信号源等。电压源和电流源是从实际电源抽象得到的电路模型,它们是二端有源元件。

1. 理想电压源

一个电源的端电压与通过元件的电流无关,总保持为给定的时间函数,而电流的大小由外电路决定,这样的电源称为理想电压源或恒压源,用 E 或 U_s 表示,其图形符号如图 1-3 (a) 所示。如果一个电源的内阻远小于负载电阻的大小,则电源内阻压降可忽略不计,于是 $U_s \approx E$,输出电压基本恒定,可认为是理想电压源。实际电压源都具有内阻 R_0 ,当电流通过内阻时会产生压降,使电源两端的电压随电流而变化。

为了反映实际电压源的端电压随电流而变化的外特性,可以认为实际电压源是理想电压源 E (或 U_s) 与 R_0 内阻相串联组成的,如图 1-3 (b) 所示,这里把实际电压源简称为电压源。

由于理想电压源具有恒压的特性,因此在理想电压源两端并联电阻(或其他元件)时,不会改变它对原来外电路的输出,故在计算外电路时,除去与理想电压源直接并联的电阻(或其他元件)不会影响计算结果。也就是说理想电压源与任意元件并联可等效为理想电压源本身。

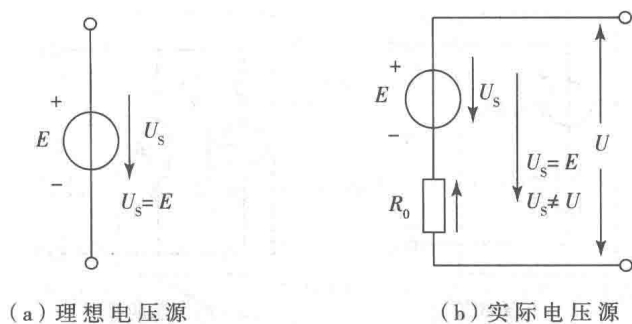


图 1-3 电压源图形符号

2. 理想电流源

一个电源的输出电流总能保持定值或一定的时间函数，其值与它的两端电压无关的元件叫理想电流源或恒流源，用 I_s 表示，其图形符号如图 1-4 (a) 所示。在实际工作中所使用的一些稳流电源设备，就是一种高内阻的电源，电源的内阻远大于负载电阻，输入电流 $I_s \approx E/R_0$ ，基本恒定，可以认为是理想电源。实际电流源的性能只是在一定范围内与理想电流源相接近，因为任何电源内部都有损耗，它可以用一个理想电流源 I_s 和 R_0 内阻相并联组成，如图 1-4 (b) 所示。并联的内阻，使电源的输出电流 I 随负载而变化。在以后的介绍中，实际电流源又简称为电流源。

理想电流源具有恒流特性，与理想电流源串联接入电阻（或其他元件），不会改变对原有外电路的输出，所以在计算外电路时，短接与理想电流源直接串联的电阻（或其他元件）不会影响计算结果。也就是说理想电流源与任意元件串联可等效为理想电流源本身。

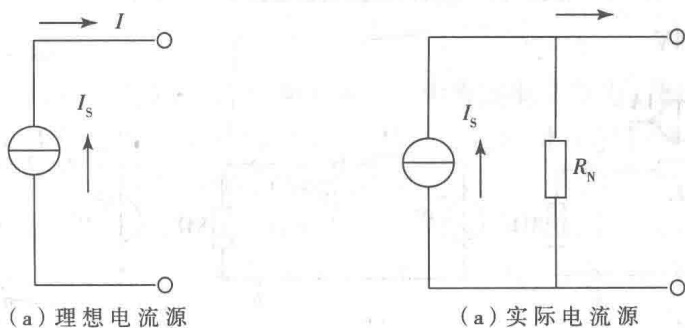


图 1-4 电压源图形符号

3. 电压源和电流源的等效变换

从电压源的外特性和电流源的外特性可知，二者是相同的，因此实际电压源和实际电流源之间可以等效变换。可以用电压源和电阻的串联组合或电流源和电阻的并联组合作为实际电源的电路模型。

这里所说的等效变换仅保证端子 $a-b$ 外部电路的电压、电流和功率相同（即只是对外部等效），对内部并无等效可言。即 $a、b$ 间端口电压均为 U ，端口处流出或流入的电流 I 相同，如图 1-5 所示。

$$\text{电压源输出的电流为: } I = \frac{U_s - U}{R_i} = \frac{U_s}{R_i} - \frac{U}{R_i} \quad \text{电流源输出的电流为: } I = I_s - \frac{U}{R_i}。$$

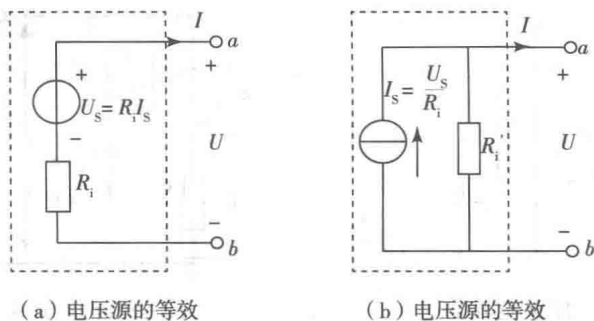


图 1-5 电压源和电流源的等效变换

根据等效的条件，上面两个式子中对应项相等，即

$$I_s = \frac{U_s}{R_i} \quad R'_i = R_i$$

上式就是电源模型等效变换的条件。

等效变换过程中注意：电流源的电流方向与电压源电压方向相反。理想电压源和理想电流源是不能进行等效变换的，因为理想电压源的输出电流由负载电流大小决定；而理想电流源的端电压由负载大小决定。

【例 1-1】 试用实际电源间的等效变换方法求图 1-6 (a) 中的电压 U_{ab} 。

解：对该电路可先进行等效变换，将电流源与电阻并联部分等效为电压源与电阻的串联，如图 1-6 (b) 所示，然后把电压源合并，得到图 1-6 (c) 所示的电源。最后可根据分压公式求得电压 U_{ab} ，

$$U_{ab} = \frac{8}{2+8} \times 5V = 4V$$

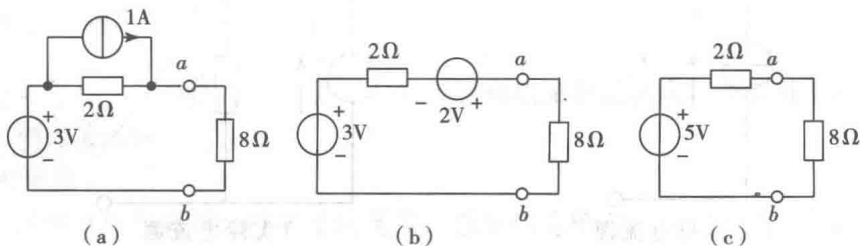


图 1-6

1.2 电路的基本物理量及电气设备的额定值

1.2.1 电路基本物理量

电路理论中涉及的物理量主要有电流、电压、电位、电动势、电功率、电能，通常用 I 、 U 、 V 、 E 、 P 、 W 分别表示。下面对这些物理量作简要介绍。

1. 电流 (I)

带电粒子有规则的定向运动形成了电流。单位时间内通过导体横截面的电荷量定义为电

流强度, 用 i 表示, 即

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

式中, i 为单位时间内通过导体横截面的电荷量, 若为 $\frac{dq}{dt}$ 常数, 即是直流电流, 常用大写字母 I 表示。电流的单位是 A (安培, 简称安)。

电流不仅有大小, 而且还有方向。习惯上规定正电荷运动的方向或负电荷运动的相反方向为电流的方向 (实际方向)。电流的方向是客观存在的。但在分析较为复杂的直流电路时, 往往难于事先判断某支路中电流的实际方向; 对交流而言, 其方向随时间而变, 在电路图上也无法用一个箭头来表示它的实际方向。为此, 在分析和计算电路时, 通常可任意选定某一方向作为电流的参考方向, 或称为正方向。所选的参考方向并不一定与电流的实际方向一致。当电流的实际方向与参考方向一致时, 则电流为正值; 反之为负值。因此参考方向选定以后, 电流才有正负之分。参考方向在电路图中用箭头表示, 也可用字母带双下标表示, 如 I_{ab} 表示参考方向由 a 到 b , 如图 1-7 所示。这样, 在电路计算时, 只要选定了参考方向, 并算出电流值, 就可根据其值的正负号来判断其实际方向了。



图 1-7 电流参考方向与实际方向的关系

电流的具体分类如下:

电流可分为直流电和交流电 (AC) 两大类。其中直流电又分为: 恒定直流电 (DC) 和脉动直流电, 恒定直流电是指大小和方向均不随时间变化的量 (用字母 I 表示), 如图 1-8 (a) 所示, 脉动直流电是指方向不随时间变化的量, 如图 1-8 (b) 所示。交流电可分为: 正弦交流电和非正弦交流电, 正弦交流电是指大小和方向随时间按正弦规律变化的量, 用字母 i 表示, 如图 1-8 (c) 所示, 非正弦交流电是指大小和方向不按正弦规律周期性变化的量如图 1-8 (d) 所示。

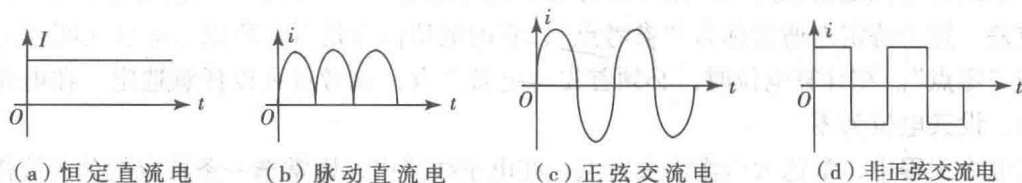


图 1-8 不同电流的图形

2. 电压 (U)

两点之间的电位差即是两点间的电压。单位正电荷从电路中一点移至另一点电场力做功的大小, 也可用表述为在电场力的作用下, 通过外电路运送电荷的能力。其数学表达式为

$$U_{ab} = \frac{dw}{dq} = V_a - V_b \quad (1-2)$$

式中, dw 表示电场力所做的功; dq 为电荷量, V_a 、 V_b 分别表示 a 、 b 点的电位, U_{ab} 则表示 a 、 b 点间的电位之差。电压与电路中两点相联系。电压的单位是 V (伏特, 简称伏)。

电路中电压的实际方向规定为从高电位指向低电位的方向。但在复杂电路或交变电路中, 两点间电压的实际方向往往不易判别, 给实际电路问题的分析计算带来困难。故需要事先假定两点间电压的参考方向或参考极性。在表达两点之间的电压时, 用正极性 (+) 表示高电位, 负极性 (-) 表示低电位, 而正极指向负极的方向就是电压的参考方向。指定参考方向后, 电压就是一个代数量, 在图 1-9 中, 电压 U 的参考方向是由 a 指向 b , 也就是假定 a 点的电位比 b 点的电位高; 如果 a 点的电位确实高于 b 点的电位, 即电压的实际方向是由 a 到 b , 两者的方向一致, 则 $U > 0$ 。若实际电位是 b 点高于 a 点, 则 $U < 0$ 。有时为了图示方便, 也可用一个箭头表示电压的参考方向。还可以用带有双下标的字母表示, 如电压 U_{ab} , 其参考方向为从 a 指向 b 。与电流类似, 两点间电压数值的正与负, 在设定参考方向的前提下才有意义。本书的后续内容中电路图上所标出的电流 (或电压) 的方向都是参考方向。

一个元件的电流或电压的参考方向可以独立地任意指定。如果指定流过元件的电流参考方向是以标以电压正极性的一端指向负极性的一端, 即两者的参考方向一致, 则把电流和电压的这种参考方向称为关联参考方向, 当两者不一致时, 称为非关联参考方向。如图 1-10 所示, 电流从元件标以 “+” 的端点流入, 从 “-” 端流出。通常约定, 除电源元件外, 所有元件上的电流和电压都采用关联参考方向。

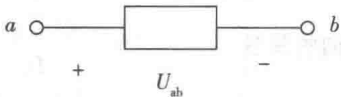


图 1-9 电压的正方向

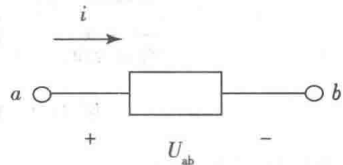


图 1-10 关联的电流、电压参考方向

3. 电位 (V)

在电子线路的分析计算中, 经常要用到电位的概念。电路中电位的计算, 与电路中电压的计算一样, 都是计算电路中两点的电位差。在物理学中, 将单位正电荷 q 从电路中一点 a 移至参考点 ($\varphi = 0$, 物理学中习惯选无穷远处作参考点) 时电场力做功的大小, 记为 V_a 。电路中某点的电位是指该点与电路中某特定点之间的电位差, 而不是指该点与电路中任一点的电位差。这个特定点通常称为 “参考点”, 它的电位认为是零, 所以参考点又叫 “零电位点” 或 “零点”。在计算电位时, 必须首先选定参考点, 参考点可以任意选定。在电路中的任意一点, 设其电位为零。

在电力工程中, 常选大地作为参考点; 在电子线路中, 则常选一条特定的公共线作为参考点, 这条公共线常是很多元件的汇集处且与机壳相连, 俗称 “地线”。参考点在电路中用图形符号 “—” 表示。电位用字母 “V” 表示, 如 a 点的电位记为 V_a (注意: 电位为单下标)。图 1-12 所示电路, 是利用电位的概念, 简化图 1-11 所画出的电路图, 在电子线路中, 常使用这种习惯画法。

4. 电动势 (E)

在闭合电路中, 要维持连续不断的电流, 必须要有电源。在电源内部有一种局外力 (即非电场力) 将单位正电荷从电源的负极移至电源的正极所转换而来的电能称为电源的电

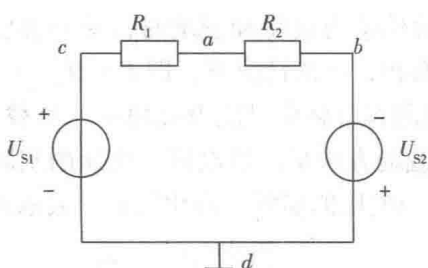


图 1-11 双电源电路

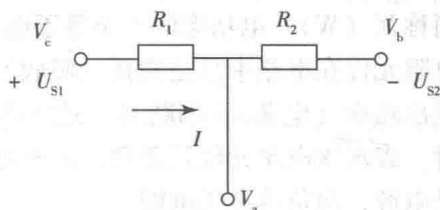


图 1-12 图 1-11 的习惯画法

电动势。电源内部的电源力（在发电机中是电磁力，在化学电池中是化学力）把回到负极的正电荷再推向正极，保持正电荷源源不断地定向流动。电动势是反映电源力把正电荷由负极推向正极这种能力的物理量，因此就把电源力推动正电荷的方向（由低电位指向高电位）规定为电源电动势的实际方向。这里把电位高的一端称为正极，电位低的一端称为负极，则规定电动势的实际方向在电源内部是由电源的负极指向电源正极的方向。显然，电源电动势的实际方向和电源端电压的实际方向刚好相反，前者是电位升高的方向，后者是电位降低的方向。如图 1-13 (a) 所示。电动势在数值上等于局外力把正电荷从负极板搬运到正极板所做的功 W_{ba} 与被搬运的电荷 Q 的比值，用 E 表示，单位也是伏特 (V)，即

$$E = \frac{W_{ba}}{Q} \quad (1-3)$$

如果局外力把 1C (库) 电量从 b 点搬运到 a 点所做的功是 1J (焦)，则 b 与 a 两点间的电动势就等于 1V。

由于电动势 E 两端的电压值为恒定值，且不论电流的大小和方向如何，其电位差总是不变，故用恒压源 U_s 的电路模型代替电动势 E ，如图 1-13 (b) 所示。在分析电路时，电路中电压参考方向不同时，其值不同。当选取的电压参考方向与恒压源的极性一致时， $U = U_s$ ，如图 1-13 (c) 所示；相反时， $U = -U_s$ ，如图 1-13 (d) 所示，且与电路中的电流无关。

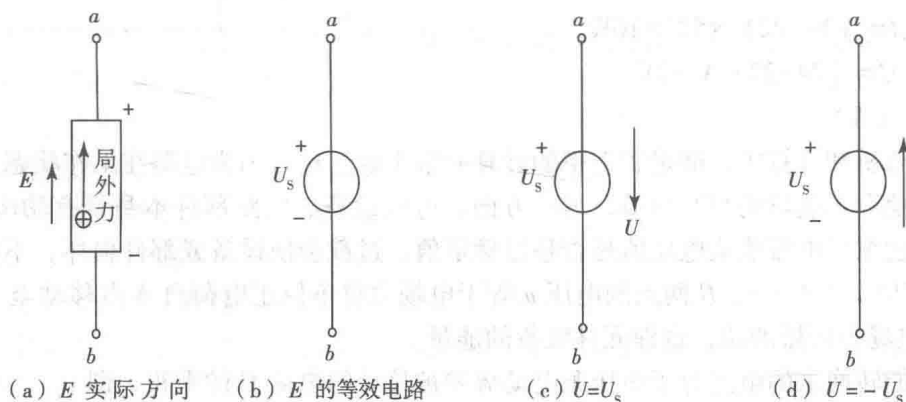


图 1-13 电动势 (恒压源) 的图形符号及不同电压参考方向

5. 电功率 (P)

电路中单位时间内电场力所做的功称为电功率，简称功率。功率是电路分析中常用到另外一个物理量，功率用 “ P ” 或 “ p ” 表示，“ P ” 表示直流功率或交流平均功率，“ p ” 表示

瞬时功率。在国际单位制 (SI) 中, 当电压和电流的单位为伏特和安培时, 功率单位是瓦特, 简称瓦 (W)。电功率的大小等于电流与电压的乘积, 直流情况下, 即 $P=UI$ 。

电阻元件在电路中总是消耗 (吸收) 功率, 而电源在电路中可能吸收功率 (负载), 也可能发出功率 (电源), 判断某一元件是电源还是负载的方法是: 当电流与电压的实际方向一致时, 表示该电路元件是负载, 消耗电能; 当电流与电压的实际方向相反时, 表示该电路元件是电源, 向负载提供电能。

在闭合电路中理想电压源产生的电功率为

$$P_{US} = \frac{U_s I t}{t} = U_s I \quad (1-4)$$

负载消耗的电功率为

$$P_{RL} = \frac{U I t}{t} = U I \quad (1-5)$$

电源内部损耗的电功率为

$$\Delta P = \frac{U_i I t}{t} = U_i I \quad (1-6)$$

这三者间的关系为

$$P_{US} = P_{RL} + \Delta P \quad (1-7)$$

式 (1-7) 称为电路的功率守恒的公式。功率的单位是 W (瓦), 电能的单位是 J (焦), 因这些单位有时太小, 所以功率的单位常用 kW (千瓦), 电能的单位常用 kW · h (千瓦时), 而 1 kW · h 俗称 1 度电。

【例 1-2】如图 1-14 所示, 已知恒压源 $U_s = 24V$, 电源输出电压 $U = 22V$, 电流 $I = 5A$, 求 P_{US} 、 P_{RL} 、 ΔP 和 U_i 。

解: $P_{US} = U_s I = 24 \times 5 W = 120 W$

$P_{RL} = U I = 22 \times 5 W = 110 W$

$\Delta P = U_i I = (24 - 22) \times 5 W = 10 W$

$U_i = U_s - U = (24 - 22) V = 2 V$

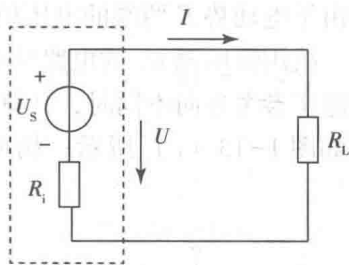


图 1-14

6. 电能 (W)

在电路分析和计算中, 能量和功率的计算非常重要。这是因为电路在工作状态下总伴随有电能与其他形式能量的相互转换; 另一方面, 电气设备、电路部件本身都有功率的限制, 在使用时要注意其电流值或电压值是否超过额定值, 过载会使设备或部件损坏, 不能正常工作。根据电压的定义 (A、B 两点的电压 u 等于电场力将单位正电荷自 A 点移动至 B 点时所做的功), 电场力所做的功, 也即元件吸收的能量。

从非电能转换来的电能等于恒压源电动势和被移动的电荷 Q 的乘积, 即

$$W_{US} = U_s Q = U_s I t \quad (1-8)$$

此电能可分为两部分: 其一是电源输出的电能 W , 其二是电源内部将消耗电能 W_i 。

外电路取用的电能等于电源输出端的电压 U 与受电场力作用而移动的电荷 Q 的乘积, 即

$$W = U Q = U I t \quad (1-9)$$

电荷在电源内部移动时,把一部分电能转换成热能,这是无法利用的能量损耗。根据能量守恒定律得

$$W_i = W_{us} - W = (U_s - U) It \quad (1-10)$$

式(1-10)中称为电源内部电压降,用 U_i 表示,于是可得电路的能量平衡方程为

$$U_s It = UI + U_i It \quad (1-11)$$

等式两边除以 It ,则得

$$U_s = U + U_i \quad (1-12)$$

式(1-12)称为电路的电压平衡方程。其含义是:恒压源两端的电压等于电源输出电压与电源内部电压降之和。

1.2.2 电气设备的额定值

从应用的角度来说,额定值有着十分重要的意义,它说明了电气设备正常工作应受到的一些限制。超过额定值工作是不妥当的,但远离额定值(欠载)也是不科学的。额定值是制造厂为了使产品能在给定的工作条件下正常运行而规定的容许值。

任何一个电气设备,为了安全可靠地工作,都必须有一定的电流、电压和功率的限制和规定值。这种规定值就称额定值。如一个白炽灯泡额定值为220V、40W表示该灯泡应在220V电压下使用,消耗电功率为40W,则发光正常,保证使用寿命,若超过规定值使用,灯丝温度过高,寿命会大大缩短,严重时立即熔断,而低于规定值使用,则经济性达不到要求。因此额定值的提出,有它的实际意义。

(1) 额定电流(I_N):电气设备长时间运行达到最高允许温度时的电流,称为额定电流。

(2) 额定电压(U_N):为限制电气设备电流并考虑材料绝缘性能等因素,允许加在电气设备上的电压限值,称为额定电压。

(3) 额定功率(P_N):直流电路中,额定电压与额定电流的乘积就是额定功率,即 $P_N = I_N U_N$ 。

额定电流、额定电压和额定功率通常称为额定值。额定值常标在电气设备和元件的铭牌上或者打印在外壳上,故又叫铭牌值。

(4) 额定值表示方法:

① 利用铭牌标出(电动机、电冰箱、电视机的铭牌);

② 直接标在该产品上(电灯泡、电阻);

③ 从产品目录中查到(半导体器件)。

(5) 电气设备的三种运行状态:

① 额定工作状态,应用中实际值等于额定值时,电气设备的工作状态,即 $I = I_N$, $P = P_N$ 。(经济合理,安全可靠)

② 过载(超载):实际值超过额定值,即 $I > I_N$, $P > P_N$ 。(设备易损坏)

③ 欠载(轻载):实际值低于额定值。即 $I < I_N$, $P < P_N$ 。(不经济)

1.2.3 电路的三种工作状态

电路在工作时,对电源来说,通常处于以下三种工作方式之一:有载、空载和短路。