

21 世纪高等学校电子信息类教材

电工电子技术

● 徐淑华 宫淑贞 编著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

电工电子技术

主 编 王 明 副 编 王 明

21 世纪高等学校电子信息类教材

电工电子技术

徐淑华 宫淑贞 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

全书共分五个模块 17 章,包括电路分析基础、模拟电子技术、数字电子技术、EDA 技术、电气控制技术五大部分,涵盖了电工电子技术的基本内容。

本书内容处理详略得当,基本概念讲述清楚,分析方法讲解透彻,思考题、例题、练习题配置齐全,难易度适中,方便学生自学和教师施教。本书可作为高等学校非电类专业学生的教科书,也可供其他工科专业选用和社会读者阅读。

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

电工电子技术/徐淑华,宫淑贞编著. —北京:电子工业出版社,2003.7

21 世纪高等学校电子信息类教材

ISBN 7-5053-8874-6

I. 电… II. ①徐… ②宫… III. ①电工技术—高等学校—教材 ②电子技术—高等学校—教材
IV. ①TM ②TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 055412 号

责任编辑:冉 哲

印 刷 者:北京彩艺印刷有限公司

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

经 销:各地新华书店

开 本:787×1092 1/16 印张:24 字数:614 千字

印 次:2004 年 1 月第 2 次印刷

印 数:3 000 册 定价:29.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。联系电话:(010)68279077。质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

前 言

电工电子技术是高等院校非电类专业的一门技术基础课程。通过本课程的学习可以使學生获得用电技术方面的基本理论和基本技能。

在 21 世纪,不同学科领域的技术相互融合,并不断开拓出新的学科领域。因此,面对新世纪的挑战,电工电子技术课程必须不断地进行深入的改革。课程改革的关键之一在于教材。教材改革的焦点在于:其一,本课程是非电类专业学生获得电工电子技术基本知识的主要途径,基础理论要加强;其二,蓬勃发展的新技术要求教材内容不断扩充和更新,这使得本课程学时少与内容多的矛盾更为突出。为适应本课程教学改革的发展趋势,根据教育部对该课程制订的基本要求,我们编写了本教材。

我们的编写宗旨是:第一,以“基本要求”为依据,对传统内容进行了处理,精简了变压器、电动机、继电器控制等部分的内容;提高起点,不重复先修课的内容,重点突出基本概念、基本理论、基本原理和基本分析方法。第二,尽量减少过于复杂的分析与计算,着重于定性分析。第三,体现先进性,将成熟的新技术,如可编程控制器(PLC)、EDA 技术等纳入教材,使学生初步了解其功能和应用。第四,对电子技术部分内容,淡化模拟,加强数字,淡化分立元件电路,加强集成电路,尤其是对中、大规模集成电路功能和使用的介绍;对模拟和数字部分的基本单元电路,不做定量分析,只做概念性、原理性、粗线条的介绍,以引出后续内容所需的概念为目的。第五,加强实践性和应用性,注意各部分知识的综合,加强系统的概念,每一模块都安排了综合应用的例子,每章中的例题和习题都尽量贴近实际应用。

本书主要面对 64~100 学时(含实验)的电工电子技术课程编写。整体结构采用模块式,共划分为五个模块:第 1 模块为电路分析基础,第 2 模块为模拟电子技术,第 3 模块为数字电子技术,第 4 模块为 EDA 技术,模块 5 为电气控制技术,各模块间既相互独立,又相互联系。教师可以根据专业和课程学时的不同而选择不同的模块,也可重组模块。每个模块的内容又分为基本内容和加深加宽内容(以 * 号标出),使之适用于不同的课程层次。

本书力求文字简明、概念清晰、条理清楚、讲解到位、插图规范,使之易教易学。各章节均配有适量的思考题与习题,供学生课后复习巩固使用。

本书第 1,2 模块(第 1~8 章)及附录由徐淑华编写,第 3,5 模块(第 9~12 章及第 14~17 章)由宫淑贞编写,第 4 模块(第 13 章)由陈大庆编写。刘丹编写了本书的中英文对照名词术语,并对本书中的部分习题进行了解析,做出了参考答案,王鲁冀绘制了书中的部分电路图,同时他们还为本书做了大量的编辑工作。全书由徐淑华统稿。

由于电工电子技术发展迅速,虽然我们精心组织,认真编写,但受水平限制,不妥和错误之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

本书配有教学辅导光盘,需要该盘的学校可以与我们联系。

联系人:冉哲 联系电话:(010)68216264 电子邮件:ran@phei.com.cn

目 录

第 1 模块 电路分析基础

第 1 章 电路的基本定律与分析方法	3
1.1 电路的基本概念	3
1.1.1 电路的组成及作用	3
1.1.2 电流和电压的参考方向	3
1.1.3 电路的功率	4
1.1.4 电源的工作状态	5
1.1.5 电路模型及理想电路元件	7
1.2 电路的基本定律	13
1.2.1 欧姆定律	13
1.2.2 基尔霍夫定律	13
1.3 电路的分析方法	16
1.3.1 支路电流法	16
1.3.2 电源等效变换法	17
1.3.3 叠加原理	21
1.3.4 等效电源定理	22
1.3.5 电位的计算	25
习题 1	28
第 2 章 交流电路	31
2.1 正弦交流电的基本概念	31
2.1.1 正弦量的三要素	31
2.1.2 正弦量的相量表示法	33
2.2 单一参数的正弦交流电路	36
2.2.1 电阻元件的正弦交流电路	36
2.2.2 电感元件的正弦交流电路	37
2.2.3 电容元件的正弦交流电路	39
2.3 简单正弦交流电路的分析	42
2.3.1 基尔霍夫定律的相量形式	43
2.3.2 正弦交流电路的阻抗	45
2.3.3 正弦交流电路的功率	48
2.4 电路的谐振	54
2.4.1 串联谐振	54
2.4.2 并联谐振	56
2.5* 非正弦周期信号的电路	57
2.5.1 非正弦周期量的分解	58

2.5.2 非正弦周期量的平均值和有效值	58
2.5.3 非正弦周期量的线性电路的计算	58
习题 2	60
第 3 章 三相电路	64
3.1 三相电源	64
3.2 三相电路中负载的连接	66
3.2.1 负载星形连接的三相电路	66
3.2.2 负载三角形连接的三相电路	69
3.3 三相电路的功率	71
3.3.1 三相功率的计算	71
3.3.2 三相功率的测量	72
3.4 安全用电技术	74
3.4.1 安全用电常识	74
3.4.2 防触电的安全技术	74
3.4.3 静电防护和电气防火、防爆常识	76
习题 3	76
第 4 章 电路的暂态分析	78
4.1 暂态过程及换路定则	78
4.1.1 电路的暂态过程	78
4.1.2 换路定则	79
4.1.3 初始电压、电流的确定	79
4.2 RC 电路的暂态过程	80
4.2.1 RC 电路的零输入响应	80
4.2.2 RC 电路的零状态响应	82
4.2.3 RC 电路的全响应	83
4.3 RL 电路的暂态过程	84
4.3.1 RL 电路的零输入响应	84
4.3.2 RL 电路的零状态响应	86
4.3.3 RL 电路的全响应	87
4.4 一阶线性电路暂态分析的三要素法	87
习题 4	90

第 2 模块 模拟电子技术

第 5 章 常用半导体器件	95
5.1 PN 结及其单向导电性	95
5.1.1 半导体基础知识	95
5.1.2 PN 结的形成	96
5.1.3 PN 结的单向导电性	96
5.2 半导体二极管	97
5.2.1 二极管的基本结构	97
5.2.2 二极管的伏安特性	98
5.2.3 二极管的主要参数	98

5.2.4 二极管应用举例	99
5.3 稳压管	100
5.4 半导体三极管	101
5.4.1 三极管的基本结构	101
5.4.2 三极管的工作原理	102
5.4.3 三极管的特性曲线	103
5.4.4 三极管的主要参数	104
5.5* 绝缘栅型场效应管	105
5.5.1 基本结构与工作原理	106
5.5.2 特性曲线	107
5.5.3 场效应管使用注意事项	107
5.6 光电器件	108
5.7 集成电路	109
习题 5	110
第 6 章 基本放大电路	112
6.1 基本放大电路的组成及工作原理	112
6.1.1 基本放大电路的组成	112
6.1.2 基本放大电路的工作原理	113
6.1.3 基本放大电路的性能指标	114
6.2 放大电路的类型及特点	117
6.2.1 共射放大电路	117
6.2.2 射极输出器	118
6.2.3 差动放大电路	118
6.2.4 互补对称功率放大电路	119
习题 6	119
第 7 章 集成运算放大器及其应用	121
7.1 集成运算放大器概述	121
7.1.1 集成运算放大器的组成及工作原理	121
7.1.2 集成运算放大器的传输特性	122
7.1.3 集成运算放大器的主要参数	122
7.1.4 理想集成运算放大器及其分析依据	123
7.2 放大电路中的负反馈	124
7.2.1 反馈的概念	124
7.2.2 反馈的类型及判断	125
7.2.3 负反馈对放大电路性能的影响	128
7.3 集成运算放大器的线性应用	130
7.3.1 基本运算电路	130
7.3.2 运算放大器在信号处理方面的应用	135
7.3.3 RC 正弦波振荡电路	139
7.4 集成运算放大器的非线性应用	141
7.4.1 电压比较器	141
7.4.2* 信号产生电路	144

7.5 集成运算放大器使用时的注意事项	146
7.6 集成运算放大器的应用举例	147
习题7	149
第8章 电力电子技术	153
8.1 半导体直流稳压电源	153
8.1.1 整流电路	153
8.1.2 滤波电路	156
8.1.3 稳压电路	159
8.2* 晶闸管及其应用	163
8.2.1 晶闸管	163
8.2.2 可控整流电路	165
8.2.3 晶闸管交流调压	169
8.2.4 晶闸管的保护	170
习题8	171
第3模块 数字电子技术	
第9章 门电路与组合逻辑电路	175
9.1 数字电路概述	175
9.1.1 脉冲信号和数字信号	175
9.1.2 二进制	176
9.2 逻辑代数与逻辑函数	177
9.2.1 逻辑代数	177
9.2.2 逻辑函数及其表示法	178
9.3 逻辑门电路	181
9.3.1 分立元件门电路	181
9.3.2 集成逻辑门电路	182
9.3.3 对集成门电路输入端和输出端的处理	185
9.4 逻辑门电路的分析与设计	185
9.4.1 组合逻辑电路的分析	185
9.4.2 组合逻辑电路的设计	186
9.5 常用的组合逻辑模块	189
9.5.1 编码器	189
9.5.2 译码器	191
9.5.3 数据分配器	193
9.5.4 数据选择器	193
习题9	196
第10章 触发器与时序逻辑电路	199
10.1 双稳态触发器	199
10.1.1 RS 触发器	199
10.1.2 边沿触发器	202
10.2 寄存器	205
10.2.1 数码寄存器	205

10.2.2 移位寄存器	205
10.3 计数器	208
10.3.1 二进制计数器	208
10.3.2 非二进制计数器	210
10.4 中规模集成计数器组件及其应用	212
10.4.1 中规模集成计数器组件	212
10.4.2 用集成计数器构成任意进制计数器	213
10.5 555 定时器及其应用	216
10.5.1 555 定时器内部电路结构	216
10.5.2 用 555 定时器组成单稳态触发器	217
10.5.3 用 555 定时器组成多谐振荡器	220
10.5.4 用 555 定时器组成施密特触发器	223
习题 10	226
第 11 章* 半导体存储器和可编程逻辑器件	231
11.1 只读存储器(ROM)	231
11.1.1 ROM 的基本结构和工作原理	231
11.1.2 ROM 的分类	234
11.1.3 ROM 的应用	235
11.2 随机存取存储器(RAM)	238
11.2.1 RAM 的基本结构和工作原理	238
11.2.2 RAM 存储容量的扩展	239
11.3 可编程逻辑器件(PLD)	241
11.3.1 PLD 的电路表示法	242
11.3.2 可编程只读存储器(PROM)简介	244
11.3.3 其他 PLD 器件简介	245
11.4 数字电路应用举例	246
习题 11	249
第 12 章 模拟量和数字量的转换	252
12.1 D/A 转换器	252
12.1.1 D/A 转换器的组成和工作原理	252
12.1.2 D/A 转换器的主要技术指标	255
12.2 A/D 转换器	255
12.2.1 逐次逼近型 A/D 转换器的组成和工作原理	256
12.2.2 A/D 转换器的主要技术指标	259
习题 12	260
 第 4 模块 EDA 技术	
第 13 章 电子电路的仿真	263
13.1 概述	263
13.2 EWB 5.0 的基本使用方法	264
13.2.1 EWB 5.0 的操作界面	264
13.2.2 EWB 5.0 的元器件库	265

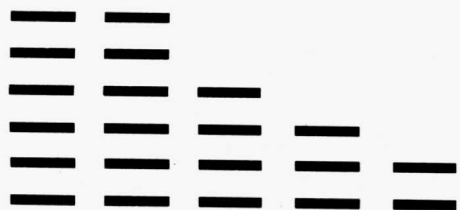
13.2.3 元器件的使用	268
13.2.4 元器件之间及与仪器的连接	269
13.2.5 仪器及仪表的使用	270
13.2.6 电路的仿真	280
习题 13	280

第 5 模块 电气控制技术

第 14 章 铁心线圈与变压器	283
14.1 磁路的基本概念	283
14.1.1 铁磁性材料的磁性能	283
14.1.2 磁路的欧姆定律	285
14.2 铁心线圈电路	285
14.2.1 直流铁心线圈电路	286
14.2.2 交流铁心线圈电路	286
14.3 变压器	288
14.3.1 变压器的基本结构	288
14.3.2 变压器的工作原理	288
14.3.3 变压器的主要技术指标和额定值	292
14.3.4 变压器的同极性端	292
14.3.5 特殊变压器	293
14.4 电磁铁	295
14.4.1 直流电磁铁	295
14.4.2 交流电磁铁	296
习题 14	297
第 15 章 异步电动机	298
15.1 三相异步电动机的基本结构和工作原理	298
15.1.1 三相异步鼠笼式电动机的基本结构	298
15.1.2 三相异步电动机的旋转磁场	299
15.1.3 异步电动机的转动原理	301
15.2 三相异步电动机的电磁转矩与机械特性	302
15.2.1 电磁转矩	302
15.2.2 机械特性	303
15.3 三相异步电动机的额定数据	305
15.4 三相异步电动机的使用	307
15.4.1 三相异步电动机的启动	307
15.4.2 三相异步电动机的调速	309
15.4.3 三相异步电动机的制动	309
15.5 单相异步电动机	310
习题 15	312
第 16 章 继电接触器控制系统	313
16.1 常用低压控制电器	313
16.1.1 手动电器	313
16.1.2 自动电器	315

16.2 三相异步鼠笼式电动机的基本控制	320
16.2.1 鼠笼式电动机直接启停控制	321
16.2.2 鼠笼式电动机的点动控制	322
16.2.3 鼠笼式电动机的异地控制	323
16.2.4 鼠笼式电动机的正反转控制	323
16.2.5 多台电动机联锁控制	324
16.3 行程控制	325
16.4 时间控制	326
习题 16	328
第 17 章 可编程控制器	331
17.1 PLC 的组成及工作原理	331
17.1.1 PLC 的基本组成	332
17.1.2 PLC 的内部器件及编号	333
17.1.3 PLC 的工作原理	336
17.2 PLC 的基本编程指令	338
17.2.1 常用的基本指令	338
17.2.2 AND LD 和 OR LD 指令	341
17.2.3 定时器 TIM 指令	342
17.2.4 计数器 CNT 指令	343
17.3 PLC 应用程序的基本编程原则	344
17.4 PLC 的应用指令	346
17.4.1 分支指令 IL/ILC	346
17.4.2 微分指令 DIFU 和 DIFD	348
17.4.3 保持继电器指令 KEEP	348
17.5 PLC 的应用举例	349
习题 17	353
附录 A 电阻器和电容器的命名方法及性能参数	355
附录 B 半导体分立器件命名方法及性能参数	358
附录 C 半导体集成电路型号命名方法及性能参数	361
附录 D 中英文名词术语索引	364
附录 E 部分习题参考答案	368
参考文献	372

电路分析基础



第 1 章 电路的基本定律与分析方法

电路是电工技术的主要研究对象,电路理论是学习电工技术和电子技术的基础。本章主要讨论电路的基本知识、基本定理、基本定律以及应用这些定理定律分析计算直流电路的方法。这些方法不仅适用于直流电路的分析计算,原则上也适用于其他电路。所以,本章是学习电工电子技术的重要基础。

1.1 电路的基本概念

1.1.1 电路的组成及作用

电路是电流通过的路径,是各种电气设备或元件按一定方式连接起来组成的总体。不管是简单的还是复杂的电路,都可分为三大部分:①提供电能(或信号)的部分,称为电源,例如蓄电池、发电机和信号源等;②吸收或转换电能的部分,称为负载,例如电动机、照明灯和电炉等;③连接和控制这两部分的称为中间环节,最简单的中间环节可以仅由两根连接导线组成,而复杂的中间环节可以是一个庞大的控制系统。

从电源看,电源本身的电流通路称为内电路,电源以外的电流通路称为外电路。当电路中的电流是不随时间变化的直流电流时,称该电路为直流电路;当电路中的电流是随时间变化的交流电流时,称该电路为交流电路。依照国家标准,直流电路的物理量用大写的字母表示,电压、电流、电动势分别表示为: U, I, E ;交流电路的物理量用小写的字母表示,电压、电流、电动势分别表示为: u, i, e 。

电路的作用可分为两类:一是传输和转换电能。典型的例子是电力系统,发电厂的发电机将热能或原子能等转换成电能,通过变压器、输电线等输送给各用电单位,各用电单位又把电能转换成光能、机械能、热能等。显然,该电路的作用是实现能量的传输和转换。电路的另一作用是进行信号的传递和处理。如电视机电路,电视机的接收天线把载有语言、音乐、图像的电磁波接收后转换为相应的电信号,然后通过电路对信号传递和处理,送到扬声器和显像管,还原为声音和图像。

1.1.2 电流和电压的参考方向

电流、电压和电动势是电路中的基本物理量,它们的实际方向在物理学中已做过明确的规定,即电路中电流的实际方向是指正电荷运动的方向;电路中两点间电压的实际方向是从高电位端指向低电位端即为电位降低的方向;电动势的实际方向是从低电位端指向高电位端即为电位升高的方向。实际方向如图 1.1 所示。

但在复杂电路的分析中,某一段电路的电压、电流、电动势的实际方向往往很难事先判断出来,有时它们的方向还在不断地改变。为了分析电路的方便,需要引入一个参考方向(假定正方向)。

参考方向是任意假定的。电压、电流、电动势的参考方向,可用箭头、+、-号或给电流、电

压、电动势加双下标的方法来表示,如图1.2所示。

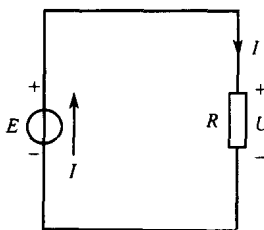


图 1.1 电路中电流、电压和电动势的方向

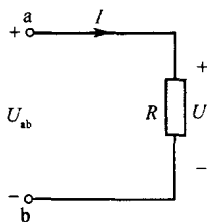


图 1.2 参考方向的表示方法

当参考方向选定以后,根据参考方向分析计算电流、电压和电动势时,若所得结果为正,则说明该量的实际方向与参考方向相同;若所得结果为负,则说明该量的实际方向与参考方向相反。若事先没有标出参考方向,则所得结果的正、负无任何意义。即只有在选定了参考方向之后,电压、电流、电动势的正、负才有意义。所以,在分析电路之前,一定要先确定物理量的参考方向。

若一个元件或一段电路上的电压和电流的参考方向选得一致,则称之为关联参考方向。如图1.2中的 U 和 I 。当选取关联参考方向时,只需标出一种参考方向即可。在分析计算电路时,一般都采用关联参考方向。

除特别说明外,本书中电路图上所标的电流、电压和电动势的方向都是参考方向。

1.1.3 电路的功率

在物理学中,一个元件上的电功率等于该元件两端的电压和通过其电流的乘积,即

$$P = UI \quad (1.1)$$

若电压电流都是时变量(随时间变化),则瞬时功率为

$$p = ui$$

若元件上的电压与电流实际方向一致,则该元件吸收功率,是负载;若元件上的电压与电流实际方向相反,则该元件产生功率,是电源。取 U, I 为关联参考方向时,若 $P = UI > 0$, 则元件吸收功率;若 $P = UI < 0$, 则元件发出功率。

【例 1.1】 在图 1.3(a) 所示电路中,方框代表电源或负载,电流和电压的参考方向如图示。通过测量得知: $U_1 = 20\text{V}$, $U_2 = 20\text{V}$, $U_3 = -100\text{V}$, $U_4 = 120\text{V}$, $I_1 = -10\text{A}$, $I_2 = 20\text{A}$, $I_3 = -10\text{A}$ 。

(1) 标出各电流、电压的实际方向和极性。

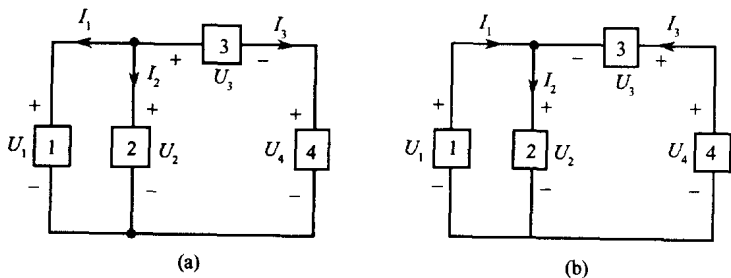


图 1.3 例 1.1 的图

(2) 判断哪几个方框是电源,哪几个方框是负载。

解: (1) 电流、电压的参考方向与实际方向一致时, 其值为正; 相反时, 其值为负。由此可得各电流、电压的实际方向如图 1.3(b) 所示。

(2) 元件上的电压、电流实际方向一致时, 该元件为负载; 电压、电流实际方向相反时, 该元件为电源。由此可得: 方框 1, 4 为电源, 方框 2, 3 为负载。

1.1.4 电源的工作状态

电源在不同的工作条件下, 会处于不同的状态, 具有不同的特点。现在以直流电路为例, 分别讨论电源的三种工作状态。

1. 有载工作状态

当电源与负载接通, 电路中有电流流动, 此时电源发出功率, 负载消耗功率。电路的这种状态称为通路, 电源的这种状态称为有载状态。如图 1.4 所示, E 为电源电动势, R_0 为电源内阻, R_L 为负载电阻。开关 S 闭合, 接通电源和负载, 负载两端的电压即电源端电压为 U , 电路中的电流为

$$I = \frac{E}{R_0 + R_L} \quad (1.2)$$

则

$$U = E - IR_0 \quad (1.3)$$

上式反映了电源端电压 U 和输出电流 I 的关系, 称为电源的外特性, 如图 1.5 所示。

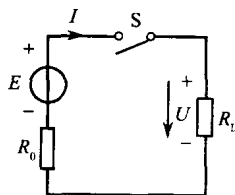


图 1.4 通路

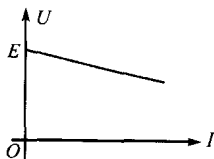


图 1.5 电源的外特性

由此可看出, 由于电源内阻的存在, 当负载电流增大时, 电源端电压下降, 因为此时内阻上的压降增加。这就是为什么在用电高峰期, 会出现电压不足的原因。但通常电源内阻很小, 所以当正常工作时, 电流变动引起的电压降很小。

电源产生的功率为电动势与电流的乘积, 电路中消耗功率为电源内阻和负载消耗功率之和(忽略连接导线产生的功率损耗), 其两者应平衡, 即电路产生的总功率等于电路消耗的总功率。

$$EI = I^2 R_0 + UI$$

即

$$\left. \begin{aligned} UI &= EI - I^2 R_0 \\ P &= P_E - \Delta P \end{aligned} \right\} \quad (1.4)$$

该公式称为功率平衡方程式。

【例 1.2】验证例 1.1 中的功率是平衡的。

解: 在图 1.3(a) 中, 所有元件上的 U, I 都为关联参考方向。电源发出的功率为