



普通高等教育“十三五”规划教材
电子电气基础课程规划教材

电工电子技术 (第3版)

■ 樊立萍 王 娜 刘 晶 主编



中国工信出版集团



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

普通高等教育“十三五”规划教材

电子电气基础课程规划教材

电工电子技术

(第3版)

樊立萍 王娜 刘晶 主编

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书全面系统地介绍了电工电子技术的基本理论及应用分析。全书分为8章,第1章到第4章为电路分析基础部分,内容包括电路的基本概念与基本定律、直流电路和正弦交流电路的分析方法;第5章为三相异步电动机及其简单控制,以及几种电动机控制应用电路和继电控制应用电路;第6章至第8章为电子技术部分,主要包括二极管特性及其整流电路、三极管及其基本放大电路、集成电路等内容。为了便于读者阅读和理解电子技术理论,在每章都有应用举例一节,遴选多个极具特色的工程应用实例,着重加强了基本理论与实际应用的有机结合,以强化工程应用能力。

本书可以作为本/专科非电类专业的教材或教学参考书,也可供有关专业师生和工程技术人员自学参考。

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

电工电子技术 / 樊立萍, 王娜, 刘晶主编. —3版. —北京: 电子工业出版社, 2017.4

电子电气基础课程规划教材

ISBN 978-7-121-31333-2

I. ①电… II. ①樊… ②王… ③刘… III. ①电工技术—高等学校—教材 ②电子技术—高等学校—教材 IV. ①TM②TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 076249 号

策划编辑: 竺南直

责任编辑: 桑 昀

印 刷: 涿州市京南印刷厂

装 订: 涿州市京南印刷厂

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: 14.5 字数: 371.2 千字

版 次: 2000 年 7 月第 1 版

2017 年 4 月第 3 版

印 次: 2017 年 4 月第 1 次印刷

定 价: 29.80 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, 88258888。

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。

本书咨询联系方式: davidzhu@phei.com.cn。

前 言

“电工电子技术”是高等院校非电类理工科各专业的一门重要的技术基础课。电工电子技术的应用遍及社会生产各领域和人类生活的各方面，对国民经济发展及生活水平提高都具有至关重要的作用。

本书从适应工科高等院校非电类应用型工程人才培养需求出发，遵循“面向实际，夯实基础，突出重点，强化应用”的原则，结合电工电子技术的发展成果与高等教育改革需要，并充分考虑全国工程教育专业认证标准规定相关教学要求及 OBE 教育理念和 CDIO 培养模式需求，在原《电工电子技术》（第 2 版）教材基础上修订编写而成。本书强调知识的渐进性，兼顾知识的系统性，力求做到学科体系完整、知识简洁明了、理论联系实际、时代特色鲜明，并尽量将项目驱动式教学主线贯穿整体。

本书基本保留了第 2 版的结构层次和传统内容，以“保基础、重实践、少而精”为特色，但在内容论述、实例选取上做了较大更新和补充，特别是在每章都增加了应用举例一节，遴选多个极具特色的工程应用实例，着重加强了基本理论与实际应用的有机结合，以强化工程应用能力。全书分为 8 章，第 1 章到第 4 章为电路分析基础部分，内容包括电路的基本概念与基本定律、直流电路和正弦交流电路的分析方法，通过增加人体电路、摩托车照明灯电路、家用电饭锅加热及保温电路、万用表分流电路、汽车发动机启动点火装置电路等大量实例来加深学生对基本定理、电路分析方法的理解和应用；第 5 章为三相异步电动机及其简单控制部分，增加了几种电动机控制应用电路和继电控制应用电路；第 6 章至第 8 章为电子技术部分，主要包括二极管特性及其整流电路、三极管及其基本放大电路、集成电路等内容，增加了镍镉电池充电器电路、趣味电子“蜡烛”电路、发光式逻辑测试笔电路、串联型直流稳压电源电路、交流闪烁指示灯电路和多媒体计算机有源音响功放电路等实际应用电路，便于读者阅读和理解电子技术理论。

本书由沈阳化工大学樊立萍教授策划并组织编写。第 1 章、第 5 章由樊立萍教授编写；第 2 章、第 3 章、第 4 章由王娜博士编写；第 6 章、第 7 章、第 8 章由刘晶博士编写。樊立萍教授最后统稿并定稿。

本书可以作为本/专科非电类专业的教材或教学参考书，也可供有关专业师生和工程技术人员自学参考。

由于时间限制和编者学识的局限，书中难免有错误和遗漏，敬请广大读者在使用过程中提出宝贵意见。

编 者

2017 年 1 月

反侵权盗版声明

电子工业出版社依法对本作品享有专有出版权。任何未经权利人书面许可，复制、销售或通过信息网络传播本作品的行为；歪曲、篡改、剽窃本作品的行为，均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人应承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。

为了维护市场秩序，保护权利人的合法权益，我社将依法查处和打击侵权盗版的单位和个人。欢迎社会各界人士积极举报侵权盗版行为，本社将奖励举报有功人员，并保证举报人的信息不被泄露。

举报电话：(010) 88254396；(010) 88258888

传 真：(010) 88254397

E-mail: dbqq@phei.com.cn

通信地址：北京市万寿路 173 信箱

电子工业出版社总编办公室

邮 编：100036

目 录

第 1 章 电路的基本概念与基本定律	1
1.1 电路组成与电路模型	1
1.1.1 电路组成	1
1.1.2 电路作用	1
1.1.3 电路模型	2
1.1.4 参考方向	2
1.2 理想电路元件	3
1.2.1 理想有源元件	3
1.2.2 理想无源元件	4
1.3 电能与电功率	5
1.4 电路的工作状态	7
1.4.1 负载状态	7
1.4.2 空载状态	8
1.4.3 短路状态	8
1.5 基尔霍夫定律	10
1.5.1 电路相关名词	10
1.5.2 基尔霍夫电流定律 (KCL)	10
1.5.3 基尔霍夫电压定律 (KVL)	11
1.5.4 基尔霍夫定律的应用	12
1.6 应用举例	13
本章小结	15
习题 1	16
第 2 章 电路的基本分析方法	19
2.1 电阻的串联、并联与混联	19
2.1.1 电阻的串联	19
2.1.2 电阻的并联	21
2.1.3 电阻的混联	23
2.2 支路电流法	24
2.3 叠加原理	26
2.4 戴维南定理	28
2.5 应用举例	32
本章小结	35
习题 2	35

第3章 单相正弦交流电路	38
3.1 正弦交流电基本概念	38
3.1.1 正弦量	38
3.1.2 正弦量的三要素	38
3.1.3 同频率正弦量的比较	40
3.2 正弦量的相量表示	41
3.2.1 向量与复数	41
3.2.2 正弦量的相量表示	43
3.3 单一参数交流电路	44
3.3.1 电阻元件的交流电路	44
3.3.2 电感元件的交流电路	46
3.3.3 电容元件的交流电路	47
3.4 一般单相交流电路	49
3.4.1 基尔霍夫定律的相量形式	49
3.4.2 阻抗及其串、并联	50
3.4.3 RLC 串联交流电路	52
3.4.4 交流电路的谐振	53
3.5 交流电路的功率	56
3.5.1 瞬时功率	56
3.5.2 有功功率与功率因数	57
3.5.3 无功功率	57
3.5.4 视在功率	58
3.5.5 功率因数的提高	60
3.6 应用举例	63
本章小结	66
习题3	67
第4章 三相电路	72
4.1 三相交流电源	72
4.1.1 三相对称电源	72
4.1.2 三相电源的连接	73
4.2 三相负载的连接	75
4.2.1 星形(Y形)的连接	75
4.2.2 三角形(Δ 形)的连接	76
4.3 三相电路的计算	77
4.3.1 三相对称电路的计算	77
4.3.2 不对称三相电路的计算	79

4.4 三相电路的功率	81
4.4.1 瞬时功率	81
4.4.2 有功功率	82
4.4.3 无功功率	83
4.4.4 视在功率	83
4.5 安全用电	84
4.5.1 触电方式	84
4.5.2 触电防护	86
4.5.3 静电防护和电气防火防爆	87
4.6 应用举例	87
本章小结	93
习题 4	94
第 5 章 三相异步电动机及其简单控制	96
5.1 三相异步电动机的基本构造	96
5.1.1 定子	96
5.1.2 转子	97
5.2 三相异步电动机的工作原理	98
5.2.1 旋转磁场	98
5.2.2 工作原理	100
5.3 三相异步电动机的转矩	101
5.3.1 三相异步电动机的电路分析	101
5.3.2 电磁转矩	103
5.4 三相异步电动机的机械特性	104
5.5 三相异步电动机的选择	106
5.5.1 三相异步电动机的铭牌数据	106
5.5.2 三相异步电动机的选择	108
5.6 三相异步电动机启动、制动与调速	109
5.6.1 三相异步电动机的启动	109
5.6.2 三相异步电动机的制动	113
5.6.3 三相异步电动机的调速	114
5.7 三相异步电动机的继电-接触器控制	116
5.7.1 常用低压电器	116
5.7.2 三相异步电动机的继电-接触器控制电路	121
5.8 应用举例	125
5.8.1 几种电动机控制应用电路	125
5.8.2 几种继电控制应用电路	127
本章小结	129
习题 5	130

第 6 章 半导体二极管及整流电路	134
6.1 PN 结及其单向导电性	134
6.1.1 半导体基础知识	134
6.1.2 PN 结及其单向导电性	135
6.2 半导体二极管	137
6.2.1 基本结构	137
6.2.2 伏安特性	137
6.2.3 开关特性	138
6.2.4 主要参数	139
6.2.5 几种常用的特殊二极管	139
6.3 二极管整流滤波电路	141
6.3.1 单相半波整流电路	141
6.3.2 单相桥式整流电路	142
6.3.3 滤波电路	143
6.3.4 稳压电路	146
6.4 应用举例	148
本章小结	150
习题 6	150
第 7 章 基本放大电路	153
7.1 晶体三极管	153
7.1.1 基本结构	153
7.1.2 电流放大作用及原理	154
7.1.3 特性曲线	156
7.1.4 主要参数	157
7.2 基本交流放大电路	159
7.2.1 基本交流放大电路的组成	159
7.2.2 放大电路的静态分析	161
7.2.3 放大电路的动态分析	163
7.2.4 稳定工作点的分压式偏置放大电路	169
7.2.5 射极输出器	173
7.2.6 多级放大电路	175
7.3 应用举例	180
本章小结	181
习题 7	182

第 8 章 集成运算放大器	187
8.1 集成运算放大器概述	187
8.1.1 集成电路简介	187
8.1.2 集成运算放大器的基本构成	187
8.1.3 集成运算放大器的主要参数	188
8.1.4 集成运算放大器的电压传输特性	189
8.1.5 集成运放的理想特性	189
8.2 集成运算放大电路的应用	190
8.2.1 集成运放构成运算电路	190
8.2.2 集成运放用于信号处理	196
8.3 应用举例	199
本章小结	201
习题 8	201
附录 A 《电工电子技术》实验指导	207
实验一 电路基本定理研究	207
实验二 日光灯电路及功率因数的提高	209
实验三 三相交流电路研究	211
实验四 三相异步电动机的继电接触控制	214
实验五 基本放大电路研究	216
参考文献	219

第 1 章 电路的基本概念与基本定律

本章主要介绍电路的基本概念与基本定律，着重讨论电路组成与作用、电路模型与基本电路元件、电压和电流的参考方向、电能与电功率、基尔霍夫电压定律和电流定律等。本章是学习电路基本分析方法及分析各种类型电工电子电路的基础。

1.1 电路组成与电路模型

1.1.1 电路组成

由若干电气设备或元器件按一定方式用导线连接而成的电流通路，称为电路。例如，手电筒电路由干电池、灯泡和开关用导线连接而成，如图 1.1 所示。电路中的干电池是提供电能的，称为电源；灯泡是取用电能的，称为负载；而把电源和负载连接起来的开关及导线，称为中间环节。组成电路的元器件及其连接方式尽管多种多样，但一个完整的电路都包含电源、负载和中间环节这三个基本组成部分。

电源是将其他形式的能量转换为电能的装置，如蓄电池、发电机等，分别将化学能、机械能转换成电能。

负载是取用电能的设备，如灯泡、电动机、电热炉等。负载的作用是将电能转换成其他形式的能量，例如灯泡将电能转换成光能，电动机将电能转换成机械能等。

中间环节主要完成电能的传输、分配和控制作用。一些实用电路的中间环节，除了开关、导线外，通常还包含保护和检测装置、变压器等。

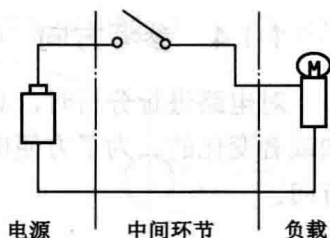


图 1.1 手电筒电路

1.1.2 电路作用

电路的作用可以从两个方面描述。

1. 实现电能的传输和转换

常见的各种照明电路和动力电路就是用来输送和转换能量的，如图 1.2 (a) 所示的电力传输系统。对于这一类电路来说，一般要求具有较小的能量损耗和较高的效率。

2. 实现信号的传递和处理

电子技术、通信技术中遇到的电路一般是以传递和处理信号为主要目的的。例如图 1.2 (b) 所示的扩音机电路，先由话筒把语言或音乐（通常称为信息）转换为相应的电信号，然后通过放大器对信号进行放大等处理后传递到扬声器，把电信号还原为语言或音乐。

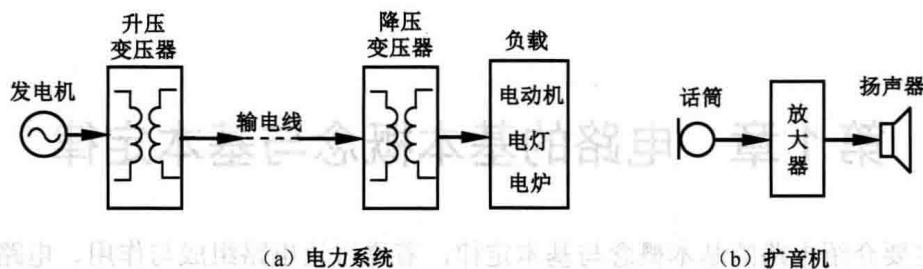


图 1.2 电路作用

1.1.3 电路模型

为了便于对电路进行分析与计算，通常将实际电路中的元器件用理想电路元件来表示。将实际的元器件理想化，只考虑其主要的电磁性能，而忽略其次要因素，称为理想电路元件。由理想电路元件构成的电路，称为电路模型（简称电路），一般采用特定符号和图形表示。电路模型是实际电路的抽象。手电筒的电路模型如图 1.3 所示，电池、灯泡等都已表示成相应理想电路元件或其组合。

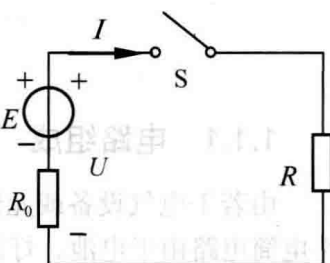


图 1.3 手电筒的电路模型

1.1.4 参考方向

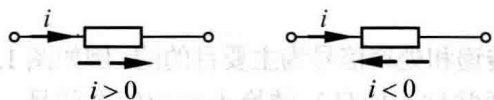
对电路进行分析时，必须知道电压、电流的方向。而电流或电压的实际方向往往是未知或者变化的。为了方便电路的分析与计算，可以任意假定一个电流或电压方向作为参考方向。

1. 电流参考方向

为了计算方便，电流的参考方向可以任意选定。但电流的方向是客观存在的，电流的实际方向是正电荷运动的方向。选定参考方向后，当电流实际方向与参考方向一致时，电流取正；当电流实际方向与参考方向相反时，电流取负，如图 1.4 所示。图中实线箭头标示电流参考方向，虚线箭头标示电流实际方向。

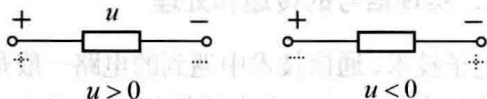
2. 电压参考方向

电压的参考方向可以任意指定。电压的方向通常用参考极性（“+”、“-”）表示。电压的实际方向规定为由高电位端（“+”极端）指向低电位端（“-”极端）。参考方向选定后，当实际方向与参考方向一致时，电压为正；当实际方向与参考方向相反时，电压为负，如图 1.5 所示。



(a) 一致方向

(b) 相反方向



(a) 一致方向

(b) 相反方向

图 1.4 电流参考方向

图 1.5 电压参考方向

3. 关联参考方向

一个元件的电流和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的参考方向是从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、电压的这种参考方向称为关联参考方向;反之,则称为非关联参考方向,如图1.6所示。

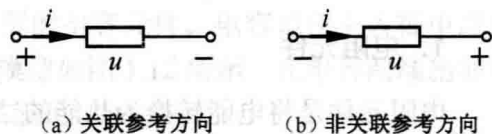


图 1.6 关联方向与非关联方向

1.2 理想电路元件

1.2.1 理想有源元件

1. 电压源

理想电压源是一种能够独立向电路提供电压的电源。理想电压源有两个基本性质:①无论负载如何,其端电压保持为某一给定值或某一给定的时间函数;②流过它的电流由外电路决定。

理想电压源的图形符号如图1.7所示,一般理想电压源均可表示成如图1.7(a)所示形式,其中 U_s 表示电压源电压,“+”、“-”分别代表电源参考极性的正、负极。直流电压源也可表示成如图1.7(b)所示形式,其中 E 代表电源电动势。

理想电压源是不存在的。实际电压源在工作时会产生一定的能量损耗,这种损耗其实是由电源内阻造成的,所以,实际电压源可以用一个理想电压源与电阻的串联模型表示。电压源以给外电路提供电压为目的,电池及发电机是目前使用最广泛的电压源。

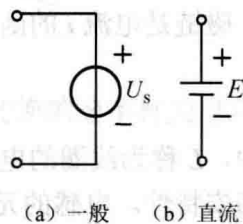


图 1.7 理想电压源

2. 电流源

在日常生活中,常常看到手表、计算器、热水器等采用太阳能电池作为电源,这些太阳能电池是采用硅、砷化镓等材料制成的半导体器件。它与干电池不同,当受到太阳光照射时,将激发产生电流,该电流是与入射光强度成正比的,基本上不受外电路影响,因此像太阳能电池这类电源,在电路中可以表示成电流源。

理想电流源是一种能够独立向电路提供电流的电源。理想电流源有两个基本性质:①不管外部电路如何,其输出电流总能保持一恒定值或某一给定的时间函数;②它的端电压取决于外电路。理想电流源元件模型如图1.8所示,其中 I_s 表示电流源电流,箭头表示电流参考方向。

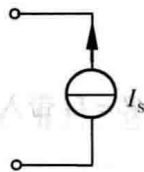


图1.8 理想电流源

理想电流源是不存在的。实际电流源可以用一个理想电流源与电阻的并联模型来表示。

1.2.2 理想无源元件

1. 电阻元件

电阻元件是将电能转换为热能的二端耗能元件,如电炉、电灯等,其模型如图1.9所示。加在电阻元件两端的电压 u 与通过该元件的电流 i 成正比,即符合欧姆定律。在关联参考方向下,表示为

$$u = Ri \quad (1-1)$$

欧姆定律表达式中的比例系数 R 就是表征导体对电流呈阻碍作用的电阻阻值。电阻的单位为欧姆,简称欧,用符号“ Ω ”表示。若电阻不随电压或电流的变化而变化,则称该电阻为线性电阻。线性电阻的阻值是个常数,其伏安特性(即 $u = f(i)$ 曲线)是一条直线。

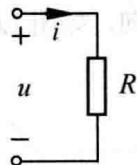


图 1.9 电阻元件

2. 电感元件

电感元件是实际线圈的一种理想化模型。工程中得到广泛应用的线圈是导线绕制的,如图 1.10 所示。当线圈中通以时变电流 i 时,将产生磁通 Φ ,如果磁通 Φ 与 N 匝线圈都交链,则磁链为

$$\Psi = N\Phi$$

磁链是电流 i 的函数。当磁链与电流的参考方向符合右手螺旋定则时,则有

$$\Psi = Li \quad (1-2)$$

式中, L 称为线圈的电感,其单位是亨(H),磁链的单位是韦伯(Wb),所以式(1-2)也称韦安特性。电感的元件模型如图 1.11 所示。若电感元件中的磁链与电流呈线性关系,即 L 为常值,则称为线性电感。当电感两端电压与通过电感的电流属于关联参考方向时,根据楞次定律,有

$$u = \frac{d\Psi}{dt} \quad (1-3)$$

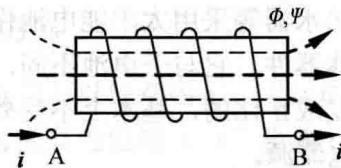


图 1.10 实际线圈

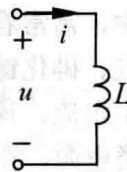


图 1.11 电感元件

将 $\Psi = Li$ 代入式(1-3),得

$$u = L \frac{di}{dt} \quad (1-4)$$

即电感电压与电流的变化率成正比。当通过电感的电流有变化时,电感两端才有电压;当电流不随时间变化时,电感两端电压为零。因此,电感是一种动态元件,在直流电路中,电感相当于短路。

3. 电容元件

在电力系统和电子装置中常用的电容器就是典型的电容元件。电容是用来表征电路中电场能量储存这一物理性质的理想元件。电容元件模型如图 1.12 所示。在电容两端施加电压 u ，它的极板上就会储存电荷 q ，两者之间的关系满足

$$q = Cu \quad (1-5)$$

式中， C 称为电容，其单位是法拉 (F)。由于法拉的单位太大，工程上多采用微法 (μF) 或皮法 (pF)。 $1\mu\text{F}=10^{-6}\text{F}$ ， $1\text{pF}=10^{-12}\text{F}$ 。若电容元件中的电量与电压呈线性关系，即 C 为常值，则称为线性电容。

当电容两端的电压变化时，极板上的电荷量也随之变化，和极板连接的导线上就有电流 i 。当电压与电流为关联参考方向时，有

$$i = \frac{dq}{dt} = C \frac{du}{dt} \quad (1-6)$$

可见，电容电流与电压的变化率成正比。当电容两端的电压有变化时，电容才有电流通过；当电压不随时间变化时，电容电流为零。因此，电容属于动态元件，在直流电路中，电容相当于开路。

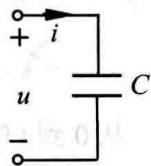


图 1.12 电容元件

1.3 电能与电功率

电路中通过电流时，就伴随着电能的传送或转换。电能传送或转换的速率称为电功率，简称功率，即

$$p = \frac{dW}{dt} \quad (1-7)$$

功率的单位是瓦 (W)。若元件的电压和电流采用关联参考方向，则该元件吸收的功率为

$$p = ui \quad (1-8)$$

在关联参考方向下，按照上式计算所得结果，如果采用非关联参考方向，则需要添加负号；计算结果若 $p > 0$ ，则表示元件吸收或消耗功率，即该元件是作为负载存在的；若 $p < 0$ ，则表示元件发出或释放功率，即该元件是作为电源存在的。

元件在一段时间 ($0 \sim t$) 内消耗的电能为

$$W = \int_0^t p dt = \int_0^t u i dt \quad (1-9)$$

能量的单位是焦耳 (J)，但电能的常用单位是千瓦时 ($\text{kW} \cdot \text{h}$)，也即度， $1\text{kW} \cdot \text{h} = 3.6 \times 10^6 \text{J}$ 。

对于电阻元件，其消耗功率为

$$p_R = ui = i^2 R = \frac{u^2}{R} \quad (1-10)$$

从0到 t 的时间内电阻消耗的电能为

$$W_R = \int_0^t p dt = \int_0^t i^2 R dt \quad (1-11)$$

电阻元件把吸收的电能全部转换成热能。

对于电感元件,其消耗功率为

$$p_L = ui = Li \frac{di}{dt} \quad (1-12)$$

从0到 t 的时间内,电感电流由0变为 I ,电感储存的磁场能量为

$$W_L = \int_0^t p dt = \int_0^t Li \frac{di}{dt} dt = \frac{1}{2} LI^2 \quad (1-13)$$

即电感储存的磁场能量只取决于该时刻的电流值。

对于电容元件,其消耗功率为

$$p_C = ui = Cu \frac{du}{dt} \quad (1-14)$$

从0到 t 的时间内,电容电压由0变为 U ,电容储存的电场能量为

$$W_C = \int_0^t p dt = \int_0^t Cu \frac{du}{dt} dt = \frac{1}{2} CU^2 \quad (1-15)$$

即电容储存的电场能量只取决于该时刻的电压值。

例 1.1 电路如图 1.13 所示,已知 $U_1=14V$, $I_1=2A$, $U_2=10V$, $I_2=1A$, $U_3=-4V$, $I_4=-1A$, 求各元件的功率,并说明各元件是电源还是负载?

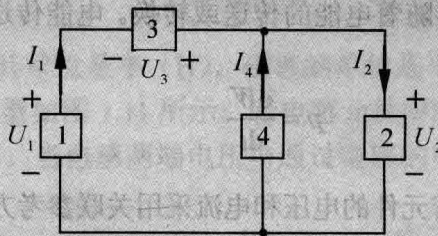


图 1.13 例 1.1 图

解: 元件 1 的端电压与其通过的电流为非关联参考方向, 故元件吸收功率为

$$P_1 = -U_1 I_1 = -14 \times 2 W = -28 W < 0$$

则元件 1 发出功率, 是电源。

元件 2 的电压和电流为关联参考方向, 故元件吸收功率

$$P_2 = U_2 I_2 = 10 \times 1 W = 10 W > 0$$

则元件 2 吸收功率, 是负载。

元件 3 的电压和电流为非关联参考方向, 故元件吸收功率

$$P_3 = -U_3 I_1 = -(-4) \times 2 W = 8 W > 0$$

则元件 3 吸收功率, 是负载。

元件 4 的电压和电流非关联参考方向, 故元件吸收功率

$$P_4 = -U_2 I_4 = -10 \times (-1) W = 10 W > 0$$

则元件 4 吸收功率, 是负载。

1.4 电路的工作状态

电路在不同的条件下, 会处于不同的运行状态, 不同的状态具有不同的特点。

1.4.1 负载状态

将图 1.14 中的开关 S 闭合, 负载与电源便处于接通状态, 负载上就有电流通过, 这时的电路工作在负载状态, 又称有载工作状态。应用欧姆定律可求出电路中的电流为

$$I = \frac{E}{R_0 + R} \quad (1-16)$$

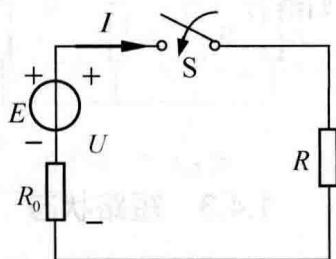


图 1.14 负载状态

负载电阻 R 两端的电压 $U = RI$, 由此可得

$$U = E - R_0 I \quad (1-17)$$

由上式可见, 电源端电压小于电动势, 两者之差为电流流过电源内阻所产生的电压降 $R_0 I$ 。

例 1.2 已知图 1.15 所示电路中, $R_1 = 50\Omega$, $R_2 = 100\Omega$, $R_3 = 200\Omega$, $E = 350V$ 。求 R_1 、 R_2 、 R_3 各自消耗的电功率及电源产生的电功率。

解: 由式 (1.16) 可求得电路中的电流

$$I = \frac{350}{50 + 100 + 200} A = 1A$$

R_1 消耗的功率为

$$P_1 = I^2 \times 50\Omega = 50W$$

R_2 消耗的功率为

$$P_2 = I^2 \times 100\Omega = 100W$$

R_3 消耗的功率为

$$P_3 = I^2 \times 200\Omega = 200W$$

由于电流的参考方向与电压源电压的参考极性是非关联参考方向, 所以电源吸收功率为

$$P_s = -EI = -350 \times 1W = -350W$$

电源吸收功率为负值, 即电源实际是发出功率。由计算结果可知, 电路中正负功率数值相等, 符合能量守恒的规律。

电气设备的电压、电流、功率都有一个额定值, 是考虑可靠性与使用寿命等因素而设定的。电气设备使用时, 实际值等于额定值是最合理的。通常, 当实际使用值等于额定值时, 电气设备的工作状态称为额定状态; 当实际电流或功率大于额定值时, 电气设备工作在过载状态; 当实际电流或功率小于额定值时, 称电气设备工作在轻载或欠载状态。

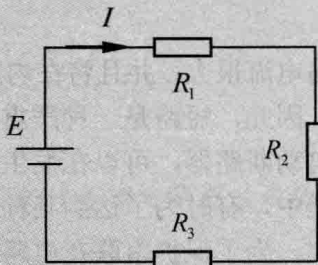


图 1.15 例 1.2 图